



**TUGAS AKHIR — RE 141581**

**STUDI KUALITAS UDARA (KARBON MONOKSIDA,  
SULFUR DIOKSIDA DAN  $PM_{10}$ ) DENGAN STASIUN  
PEMANTAU DI KOTA SURABAYA**

**TITING REZA FAHRISA**  
**331313100037**

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T, MEPM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**STUDI KUALITAS UDARA (KARBON MONOKSIDA, SULFUR  
DIOKSIDA, DAN  $PM_{10}$ ) DENGAN STASIUN PEMANTAU DI  
KOTA SURABAYA**

**TITING REZA FAHRISA**  
**3313100037**

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**STUDY OF AIR QUALITY (CARBON MONOXIDE, SULFUR  
DIOXIDE, AND PM<sub>10</sub>) WITH MONITORING STATIONS IN  
SURABAYA CITY**

**TITING REZA FAHRISA  
3313100037**

Supervisor  
Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM

DEPARTEMENT ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI KUALITAS UDARA (KARBON MONOKSIDA, SULFUR DIOKSIDA, $PM_{10}$ ) DENGAN STASIUN PEMANTAU DI KOTA SURABAYA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**TITING REZA FAHRISA**

NRP 3313 100 037

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



**Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM**  
**19820119 200501 1 001**

SURABAYA



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**





# **STUDI KUALITAS UDARA (KARBON MONOKSIDA, SULFUR DIOKSIDA, DAN PM<sub>10</sub>) DENGAN STASIUN PEMANTAU DI KOTA SURABAYA**

Nama Mahasiswa : Titing Reza Fahriza  
NRP : 3313100037  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM

## **ABSTRAK**

Beberapa parameter penting yang terbentuk dari kegiatan sektor transportasi dan industri antara lain CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub>. Parameter tersebut dapat mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan pada manusia dan penurunan kualitas udara. Sehingga diperlukan adanya alat yang berfungsi untuk memantau kualitas udara berbasis *microcontroller* dengan sensor MQ-7. Kalibrasi alat terhadap SUF-1 sangat rendah  $-0.0009x + 0.5745$  dan nilai regresinya sebesar  $R^2 = 0.092$ .

Penelitian selanjutnya yaitu mengevaluasi parameter terhadap baku mutu untuk mengetahui seberapa sering konsentrasi parameter melebihi baku mutu. Persentase data yang hilang untuk CO SUF-1 (15.92%), SUF-6 (25.80%) dan SUF-7 (16.15%); SO<sub>2</sub> SUF-1 (78.58%), SUF-6 (37.90%) dan SUF-7 (33.58%); dan PM<sub>10</sub> SUF-1 (90.32%), SUF-6 (31.97%) dan SUF-7 (27.81%). Parameter CO terjadi 1 kali melebihi baku mutu yaitu sebesar 28.88 mg/m<sup>3</sup>. Peristiwa melebihi baku mutu untuk SO<sub>2</sub> terbanyak terjadi pada SUF-1 tahun 2012, namun nilai tertinggi terjadi pada SUF-6 pada tahun 2014 yaitu 752.73 µg/m<sup>3</sup>. Nilai tersebut dimasukkan kedalam matriks satuan internasional dan mendapatkan indeks sebesar 190 (Tidak Sehat) yang ditandai dengan warna kuning. Sedangkan PM<sub>10</sub> disemua SUF mengamai kelebihan baku mutu dengan nilai tertinggi 687 µg/m<sup>3</sup> yang terjadi pada SUF-6 Tahun 2016.

*Diurnal pattern* menunjukkan rata-rata konsentrasi setiap parameter setiap 30 menit. Dimana CO mulai mengalami naik pada pagi hari dan puncaknya pada siang hari. Hal ini sesuai dengan tingkat kemacetan yang terjadi pada waktu berangkat sekolah dan pulang sekolah yaitu sekitar pukul 07.30. SO<sub>2</sub> berubah tidak signifikan dikarenakan industri beroperasi selama 24 jam setiap harinya.

Sedangkan  $PM_{10}$  dipengaruhi oleh sumber seperti letak pembongkaran jalan dan pembangunan gedung.

Dengan menggunakan *Multilevel Model* maka dapat diketahui hubungan antartvariabel. Untuk parameter  $SO_2$ , arah angin didominasi berasal dari arah Barat dan Barat Laut dengan kecepatan rata-rata 1.56 m/s. Sedangkan  $PM_{10}$  di SUF-1 didominasi berasal dari arah Timur dan Timur Laut dengan kecepatan rata-rata 0.80 m/s. Kemudian SUF 6 arah angin dan kecepatan rata-ratanya 1.17 m/s yang didominasi berasal dari Timur dan Tenggara. SUF-7 kecepatan dan arah anginnya didominasi dari arah Timur dan Timur Laut dengan kecepatan rata-rata 1.38 m/s. Hal ini juga dipengaruhi letak SUF yang dekat dengan Tol Surabaya-Gempol. Semua faktor meteorologi berpengaruh secara signifikan yang menunjukkan semakin cepat angin semakin menurunkan CO dan  $PM_{10}$  (-9.97 dan -32.09), semakin tinggi temperatur dapat menurunkan konsentrasi CO secara signifikan dan semakin meningkatnya kelembaban menurunkan konsentrasi  $SO_2$  secara signifikan. Adapun adanya program *caf free day* yang dicanangkan tidak banyak menyumbang perubahan konsentrasi CO. Program ini hanya mengalihkan distribusi polutan dari jalur satu ke jalur lainnya. Sedangkan libur panjang berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi secara signifikan.

**Kata Kunci : CO, Diurnal Pattern, Multilevel Model,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ , SUF**

## **STUDY OF AIR QUALITY (CARBON MONOXIDE, SULFUR DIOXIDE, AND PM<sub>10</sub>) WITH MONITORING STATIONS IN SURABAYA CITY**

Name : Titing Reza Fahriza  
NRP : 3313100037  
Department : Teknik Lingkungan  
Supervisor : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM

### **ABSTRACT**

*Air pollution is also influenced by several meteorological factors such as temperature, humidity, wind direction and speed, and solar radiation. Some important parameters that are formed from transportation and industrial activities are CO, SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>. These parameters can lead to various health problems in humans and decreased air quality. So that required a tool that serves to monitor the quality of air-based microcontroller with MQ-7 sensor. The tool calibration to SUF-1 is very low  $-0.0009x + 0.5745$  and its regression value is  $R^2 = 0.092$ .*

*The next research is to evaluate the parameters to the quality standard to find out how often the parameter concentration exceeds the quality standard. Percentage of missing data for CO SUF-1 (15.92%), SUF-6 (25.80%) and SUF-7 (16.15%); SO<sub>2</sub> SUF-1 (78.58%), SUF-6 (37.90%) and SUF-7 (33.58%); And PM<sub>10</sub> SUF-1 (90.32%), SUF-6 (31.97%) and SUF-7 (27.81%). CO parameters occur 1 times exceed the standard quality of 28.88 mg / m<sup>3</sup>. Events exceeded the SO<sub>2</sub> quality standard mostly occurred in SUF-1 in 2012, but the highest value occurred in SUF-6 in 2014 ie 752.73 µg / m<sup>3</sup>. The value is entered into an international unit matrix and obtains an index of 190 (Unfair) which is indicated by yellow. While PM<sub>10</sub> in all SUF to match the excess quality standard with the highest value of 687 µg/m<sup>3</sup> that occurred in SUF-6 of 2016.*

*The diurnal pattern shows the average concentration of each parameter every 30 minutes. Where CO begins to rise in the morning and peak during the day. This is in accordance with the level of congestion that occurred at the time of leaving school and home school is around 07.30. SO<sub>2</sub> changes are not significant because the industry operates for 24 hours a day. While PM<sub>10</sub> is influenced by*

sources such as the location of road demolition and building construction.

By using Multilevel Model it can be seen the relationship between variables. For  $\text{SO}_2$  parameters, the predominant wind direction is from the west and northwest direction with an average speed of 1.56 m/s. While  $\text{PM}_{10}$  in SUF-1 is dominated from the east and northeast with an average speed of 0.80 m / s. Then SUF 6 wind direction and average speed of 1.17 m / s dominated from east and southeast. SUF-7 speed and wind direction is dominated from east and northeast with an average speed of 1.38 m/s. This is also influenced by the location of SUF which is close to Surabaya-Gempol's highway. All meteorological factors have a significant effect which indicates that the faster the wind decreases CO and  $\text{PM}_{10}$  (-9.97 and -32.09), the higher the temperature can decrease the CO concentration significantly and the increase in the humidity decreases the  $\text{SO}_2$  concentration significantly. The existence of the free day caf program is proclaimed not much to contribute to changes in CO concentration. This program simply diverts the distribution of pollutants from one path to another. While the long holiday affect the decrease in concentration significantly.

**Keywords:** CO, Diurnal Pattern, Multilevel Model,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ , SUF

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “*Studi Kualitas Udara (Karbon monoksida, Sulfur dioksida, dan PM<sub>10</sub>) Dengan Stasiun Pemantau di Kota Surabaya*”.

Buku Tugas Akhir ini disusun dengan harapan dapat memberikan manfaat dalam penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan. Selain itu, memberikan kontribusi positif bagi kampus Teknik Lingkungan, ITS.

Dalam penelitian, pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Tanpa mengurangi rasa hormat, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada.

1. Orang tua penulis Bapak Sahudy Sulisko dan Ibu Hadiyatin serta kakak Vika Varia Mato Vana yang telah memberikan dukungan moral, spiritual dan material serta selalu memberikan doa demi kelancaran penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
2. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan ide, arahan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.
3. Bapak Dr. Ir Rachmat Boedisantoso, MT; Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si., MT; Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil., PhD dan Ir. Hariwiko Indarjanto, MT selaku dosen pegarah penulis yang telah memberikan nasihat dan perhatian sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.
4. Bieby Voijsant T, ST., MT., PhD selaku dosen wali yang telah memberikan nasihat dan motivasi selama masa perkuliahan.
5. Ibu dan Bapak dosen yang sudah membagikan ilmunya kepada penulis selama masa perkuliahan Teknik Lingkungan ITS.

6. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya yang telah memberikan bantuan dan kemudahan kepada penulis selama masa penelitian di Surabaya.
7. Rizqi Okta Ekoputris S.Kom sekeluarga yang memberikan nasihat dan motivasi selama penulis mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim yang merupakan keluarga kedua penulis saat di Surabaya.
9. Rekan-rekan seperjuangan L-31 yang selalu memberikan bantuan, semangat, canda tawa serta menemani penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Lingkungan ITS.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Penulis mohon maaf atas kesalahan, kelalaian maupun kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan sebagai bahan perbaikan kedepan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Ruang Lingkup .....	4
1.5 Manfaat .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Pengertian Udara dan Udara Ambien .....	7
2.2 Pencemaran Udara .....	7
2.2.1 Penyebab Pencemaran Udara .....	7
2.2.2 Sumber Pencemar Udara .....	8
2.2.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara .....	10
2.3 Parameter Penelitian.....	11
2.3.1 Karbon monoksida (CO).....	11
2.3.2 Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> ).....	13
2.3.3 <i>Particulate Matter</i> (PM <sub>10</sub> ).....	14
2.4 Pengaruh Parameter Penelitian Terhadap Kesehatan .	16
2.4.1 Pengaruh Gas CO Terhadap Kesehatan .....	16
2.4.2 Pengaruh Gas SO <sub>2</sub> Terhadap Kesehatan .....	17
2.4.3 Pengaruh PM <sub>10</sub> Terhadap Kesehatan .....	17
2.5 Pengaruh Parameter Penelitian Terhadap Lingkungan	17
2.5.1 Pengaruh Gas CO Terhadap Lingkungan .....	17
2.5.2 Pengaruh Gas SO <sub>2</sub> Terhadap Lingkungan .....	18
2.5.3 Pengaruh PM <sub>10</sub> Terhadap Lingkungan .....	18
2.6 Stasiun Pemantau Kualitas Udara.....	18
2.7 ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) .....	20
2.8 Peraturan-Peraturan Terkait Baku Mutu.....	24

2.9	Alat Pemantau Kualitas Udara Berbasis <i>Microcontroller</i> .....	25
2.9.1	<i>Microcontroller</i> .....	27
2.9.2	Sensor MQ-7 .....	27
2.10	Korelasi libur panjang dan <i>Car free day</i> terhadap kualitas udara .....	28
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	31
3.1	Gambaran Umum Penelitian.....	31
3.2	Kerangka Penelitian.....	33
3.3	Penjelasan Kerangka Penelitian .....	33
3.3.1	Ide Penelitian .....	33
3.3.2	Perumusan Masalah .....	34
3.3.3	Perumusan Tujuan dan Manfaat.....	34
3.3.4	Studi Literatur .....	35
3.3.5	Perizinan ke Instansi Terkait.....	36
3.3.6	Pengumpulan Data .....	36
3.3.7	Analisis Data.....	37
3.3.8	Pembahasan Data .....	38
3.3.9	Kesimpulan dan saran .....	38
BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1	Gambaran Umum Daerah Penelitian .....	39
4.2	Kalibrasi Alat Pemantau Kualitas Udara Terhadap SUF-1 (Taman Prestasi) .....	44
4.3	Evaluasi Konsentrasi Terhadap Baku Mutu .....	48
4.3.1	Karbonmonoksida (CO) .....	48
4.3.2	Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> ) .....	53
4.3.3	<i>Particulate Matter</i> (PM <sub>10</sub> ) .....	60
4.4	Pola Konsentrasi Harian ( <i>Diurnal pattern</i> ) .....	70
4.4.1	<i>Diurnal pattern</i> CO di Surabaya.....	70
4.4.2	<i>Diurnal pattern</i> SO <sub>2</sub> di Surabaya.....	72
4.4.3	<i>Diurnal pattern</i> PM <sub>10</sub> di Surabaya .....	74
4.5	Analisis Pengaruh Meteorologi dengan <i>Multilevel Model</i> .....	76
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	86
	DAFTAR PUSTAKA .....	87
	BIODATA PENULIS .....	125



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan Ukuran PM <sub>10</sub> dengan Rambut Manusia dan Pasir .....	14
Gambar 2.2	Skema AQMS Horiba .....	19
Gambar 2.3	Skema Alat Pemantau Berbasis <i>Microcontroller</i> ..	25
Gambar 2.4	Tampilan <i>Website</i> .....	25
Gambar 2.5	Detail Komponen Dalam Alat .....	26
Gambar 2.6	<i>Microcontroller</i> ATmega16 .....	27
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian I .....	31
Gambar 3.2	Kerangka Penelitian II .....	31
Gambar 4.1	Area sekitar SPKU di Taman Prestasi .....	40
Gambar 4.2	Stasiun Pemantau di Taman Prestasi .....	40
Gambar 4.3	Area sekitar SPKU di Wonorejo .....	41
Gambar 4.4	Stasiun Pemantau di Wonorejo .....	41
Gambar 4.5	Area sekitar SPKU di Kebonsari .....	42
Gambar 4.6	Stasiun Pemantau di Kebonsari .....	42
Gambar 4.7	Lokasi Stasiun Pemantau Kualitas Udara yang Masih Aktif .....	43
Gambar 4.8	Gambar proses pemasangan (atas) dan pelepasan (bawah) alat di Taman Prestasi (SUF-1) .....	45
Gambar 4.9	Grafik Konsentrasi SUF-1 (03-05 April 2017) .....	46
Gambar 4.10	Grafik <i>Output</i> Analog Alat (millivolt) .....	46
	Gambar 4.11 Grafik Hasil Kalibrasi Alat Pemantau Kualitas Udara Berbasis <i>Microcontroller</i> Terhadap SUF-1 .....	47
Gambar 4.12	Grafik Evaluasi CO di SUF-1 .....	49
Gambar 4.13	Grafik Evaluasi CO di SUF-6 .....	50
Gambar 4.14	Grafik Evaluasi CO di SUF-7 .....	50
Gambar 4.15	Batas Indeks Standar Pencemar Udara (CO) Dalam Satuan Matriks .....	52
Gambar 4.16	Grafik Evaluasi SO <sub>2</sub> di SUF-1 Tahun 2012 .....	54
Gambar 4.17	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter SO <sub>2</sub> Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF-1 .....	55
Gambar 4.18	Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-1 .....	56

Gambar 4. 19 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi SO <sub>2</sub> Melebihi Baku Mutu pada SUF-1 2012 .....	56
Gambar 4.20 Gambar Evaluasi SO <sub>2</sub> di SUF-6 .....	57
Gambar 4.21 Gambar Evaluasi SO <sub>2</sub> di SUF-7 .....	58
Gambar 4.22 Batas Indeks Standar Pencemar Udara (SO <sub>2</sub> ) Dalam Satuan Matriks.....	59
Gambar 4.23 Grafik Evaluasi PM <sub>10</sub> di SUF-1 .....	62
Gambar 4.24 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter PM <sub>10</sub> Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF-1 .....	62
Gambar 4.25 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-1 .....	63
Gambar 4.26 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi PM <sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu pada SUF-1 .....	63
Gambar 4.27 Grafik Evaluasi PM <sub>10</sub> di SUF-6.....	64
Gambar 4.28 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter PM <sub>10</sub> Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF-6.....	65
Gambar 4.29 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-6 .....	65
Gambar 4.30 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi PM <sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu pada SUF-6 .....	66
Gambar 4.31 Grafik Evaluasi PM <sub>10</sub> di SUF-7 .....	67
Gambar 4.32 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-7 .....	68
Gambar 4.33 Grafik <i>Diurnal pattern</i> CO.....	71
Gambar 4.34 <i>Diurnal pattern</i> CO di Klang Valley, Malaysia .....	72
Gambar 4. 35 Grafik <i>Diurnal pattern</i> SO <sub>2</sub> .....	73
Gambar 4. 36 <i>Diurnal pattern</i> SO <sub>2</sub> di Klang Valley, Malaysia ....	74
Gambar 4. 37 Grafik <i>Diurnal pattern</i> PM <sub>10</sub> .....	74
Gambar 4.38 <i>Diurnal pattern</i> PM <sub>10</sub> di Klang Valley, Malaysia....	76
Gambar 4.40 Grafik hasil sampling di 3 titik saat <i>car free day</i> ...	84
Gambar 4. 41 Grafik hasil sampling di 3 titik saat <i>Non-car free day</i> .....	84

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Lokasi Pemantau Kualitas Udara di Indonesia.....	19
Tabel 2.2	Lokasi SUF di Surabaya .....	20
Tabel 2.3	Batas Indeks Standar Pencemaran Udara dalam Satuan SI .....	21
Tabel 2.4	Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar .....	22
Tabel 2.5	Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Gas CO .....	23
Tabel 2.6	Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Gas SO <sub>2</sub> .....	23
Tabel 2.7	Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) PM <sub>10</sub> .....	24
Tabel 2.8	Peraturan Baku Mutu .....	24
Tabel 2.9	Pengujian Sensor MQ 7 .....	28
Tabel 3.1	Data Primer dan Sekunder yang Dibutuhkan .....	36
Tabel 3.2	Persentase Data yang Hilang .....	38
Tabel 4.1	Peruntukan Lahan Stasiun pemantau Kualitas Udara di Surabaya.....	39
Tabel 4.2	Tabel Jumlah Data dan Persentase CO yang Hilang..	48
Tabel 4.3	Tabel Analisis Deskriptif.....	51
Tabel 4.4	Tabel Jumlah Data dan Persentase SO <sub>2</sub> yang Hilang.	53
Tabel 4.5	Persentase SO <sub>2</sub> yang melebihi baku mutu.....	54
Tabel 4.6	Analisis Deskriptif Konsentrasi SO <sub>2</sub> .....	58
Tabel 4.7	Tabel Konsentrasi PM <sub>10</sub> di Berbagai Negara.....	60
Tabel 4.8	Tabel Jumlah Data dan Persentase PM <sub>10</sub> yang Hilang	61
Tabel 4.9	Tabel Persentase PM <sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu SUF-1 ...	61
Tabel 4.10	Tabel Persentase PM <sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu SUF-6 ...	64
Tabel 4.11	Tabel Persentase PM <sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu SUF-7 ...	67
Tabel 4.12	Rekapitulasi Persentase PM <sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu ....	68
Tabel 4.13	Analisis Deskriptif Konsentrasi PM <sub>10</sub> .....	69
Tabel 4.14	Tabel Multilevel Model .....	77

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 .....	93
Lampiran 2 .....	98
Lampiran 3 .....	114
Lampiran 4 .....	119
Lampiran 5 .....	121

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kemacetan di kota besar sudah menjadi pemandangan yang lumrah dijumpai saat pagi dan sore hari. Hal ini terjadi karena pertumbuhan jumlah penduduk. Tercatat pada tahun 2015 Dalam Surabaya dalam Angka jumlah penduduk di Surabaya adalah 2,473,272 Jiwa. Hal ini mengakibatkan kendaraan bermotor yang terus meningkat setiap tahunnya namun kurang diimbangi dengan pertumbuhan ruas jalan. Tercatat pada tahun 2013 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia  $\pm 85,890,996$  unit (Kementrian PU, 2013) dan di Surabaya terdapat  $\pm 1,800,415$  unit (Surabaya Dalam Angka, 2015). Hal ini menyebabkan meningkatnya emisi gas buang dari kendaraan bermotor semakin hari semakin meningkat pula. Kontribusi yang signifikan terhadap setengah dari total emisi yang diakibatkan oleh transportasi darat antara lain: Timbal (Pb), Karbon monoksida (CO), Hidro carbon (HC). Di daerah perkotaan dengan konsentrasi utama CO terdapat di daerah lalu lintas yang padat, dimana tingkat pencemaran udara yang mengakibatkan terjadinya permasalahan lingkungan yang dapat mengancam makhluk hidup karena hampir melampaui standar kualitas udara ambien.

Pemerintah Kota Surabaya berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup 12/2010 telah melakukan upaya pengendalian pencemaran udara dengan cara melakukan pemantauan kualitas udara melalui Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). ISPU nantinya akan memberikan informasi berupa indeks dan menampilkan warna mewakili rata-rata konsentrasi udara ambien di Surabaya yang berasal dari pemantauan Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU). Tampilan indeks tersebut memberikan laporan (warna) dalam bentuk *display* di beberapa ruas jalan secara kontinyu di Surabaya.

Adapun SPKU mengukur 5 pencemar utama dan 11 parameter pendukung, 5 parameter utama yaitu: *Particulate Matter* (PM<sub>10</sub>), CO, Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan Ozon (O<sub>3</sub>). Sedangkan 11 parameter pendukung dan meteorologi yaitu: NO, NOx, kecepatan angin (FF), kecepatan hembusan angin (FF Boe), arah angin (DD), arah hembusan angin (DD Boe),

kelembaban udara ambien, kelembaban udara container, suhu udara ambien, suhu kontainer dan global radiasi.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup 12/2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah pada lampiran VI, jumlah stasiun yang dibutuhkan adalah berdasarkan jumlah penduduknya, sehingga dengan 2,473,272 penduduk tersebut dibutuhkan kira-kira  $\pm 7$  unit SPKU. Di Surabaya terpasang 7 unit yang masing-masing mewakili peruntukannya antara lain: pusat kota, pinggiran kota, industri dll. Dari 7 stasiun tersebut hanya 3 yang berfungsi dengan baik (SUF-1, SUF-6 dan SUF-7) sedangkan sisanya rusak dan tidak dapat diperbaiki karena biaya yang dibutuhkan untuk peralatan, operasional, dan perawatan cukup mahal, sehingga perlu dilakukan penilaian untuk efisiensi (USEPA, 2002). Sehingga diperlukan alat pemantau kualitas udara yang dengan fungsi yang relatif sama dengan SUF, harga murah dan perbaikannya mudah sehingga penelitian ini mencoba dengan pendekatan kalibrasi dengan SUF untuk mendapatkan formula. Adapun untuk mendukung sistem monitoring dengan menggunakan *microcontroller* AVR tipe ATmega16 sebagai unit pusat kontrol, sensor MQ-7 yang berfungsi untuk mengukur kadar gas CO. *Output* yang berupa *millivolt* (mV) akan dicari formula konversinya terhadap  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Saat ini halaman website dapat diakses pada: <http://monitoring-udara.hol.es/>.

Paraturan Lingkungan Hidup 12/2010 juga tersusun dari peraturan-peraturan terdahulu yang membahas tentang baku mutu emisi sumber tidak bergerak. Baku mutu udara ambien adalah adalah batas kadar maksimum dan/atau beban emisi maksimum yang diperbolehkan masuk atau dimasukkan ke dalam udara ambien. Baku mutu yang diperkenankan untuk CO dan SO<sub>2</sub> masing-masing adalah adalah  $10.000\mu\text{g}/\text{m}^3/24$  jam dan  $365\text{ mg}/\text{m}^3/24$  jam. Adapun penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Kusminingrum dan Gunawan (2008) memparkan hasil yaitu parameter CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> diperoleh interval tingkat pencemaran udara di ruas jalan di Surabaya yaitu 0.01-6.67 ppm, 0.001-0.010 ppm dan 6.0 – 212.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Parameter yang didapatkan adalah indeks dimana sejauh ini belum adanya evaluasi atau studi yang membahas perbandingan konsentrasi harian kualitas udara dengan baku mutu



dalam 5 tahun terakhir. Oleh karena itu, perlu adanya evaluasi kualitas udara pada kurun waktu tertentu yaitu dengan cara membandingkannya dengan baku mutu serta peraturan-peraturan lain yang terkait. Evaluasi yang dilakukan Syafei (2014) melakukan penelitian yang menunjukkan pada tahun 2001-2002 banyak parameter yang melebihi baku mutu di Surabaya.

Selain itu, pola kualitas udara ambien mengikuti bentuk *bimodal* seperti halnya kendaraan. Artinya, ada waktu puncak setiap harinya dimana konsentrasi kualitas udara ambien paling tinggi pada hari tersebut dinamakan jam puncak (*peak*) kemudian diperoleh angka rata-rata harian konsentrasi kualitas udara ambien pada waktu puncak, jika ada yang melebihi baku mutu yang ada sehingga perlu adanya penanganan lebih lanjut.

Penelitian ini juga meneliti tentang adanya pengaruh meteorologi, *car free day*, dan libur panjang terhadap konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> dengan menggunakan Metode *Multilevel Model*. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui keterkaitan antarvariabel sehingga, dapat dianalisis dengan kondisi udara ambien seperti adanya program atau upaya lain yang telah ada. Salah satu upaya yang telah dilakukan pemerintah Kota Surabaya untuk memperbaiki kualitas udara ambien adalah dengan menerapkan program *car free day* pada hari minggu. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu menjadi dasar untuk bahan pertimbangan pemerintah Kota Surabaya untuk menentukan kebijakan-kebijakan lain guna untuk meningkatkan kualitas udara di Kota Surabaya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah formula konversi *voltage* terhadap mg/m<sup>3</sup> yang ditangkap oleh alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* parameter CO berdasarkan data dari stasiun pemantau?
2. Apakah perlu adanya evaluasi konsentrasi kualitas udara ambien dengan baku mutu yang berlaku?
3. Bagaimanakah pola konsentrasi harian (*diurnal pattern*) CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> pada tiga titik pemantauan di Kota Surabaya?
4. Bagaimanakah pengaruh meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), *car free day* dan

libur panjang terhadap konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> dengan menggunakan *Multilevel Model*?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan formula kalibrasi dari *output* analog (mV) terhadap satuan konsentrasi CO (mg/m<sup>3</sup>) yang diperoleh dari alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* parameter CO berdasarkan data dari stasiun pemantau;
2. Mengevaluasi konsentrasi kualitas udara ambien dengan baku mutu yang berlaku;
3. Menentukan pola konsentrasi harian CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> pada tiga titik pemantauan di Kota Surabaya; serta
4. Menentukan pengaruh meteorologi (arah angin, kecepatan angin), *car free day*, libur panjang terhadap konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> dengan menggunakan *Multilevel Model*.

### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini dilakukan di Kota Surabaya;
2. Kalibrasi oleh *microcontroller* dilakukan pada SUF-1 dilakukan 24 jam tanpa berhenti selama satu minggu;
3. Pola konsentrasi harian CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> beserta evaluasi akan mengambil data pada
  - SUF-1 Taman Prestasi
  - SUF-6 Wonorejo
  - SUF-7 Kebonsari
4. Waktu penelitian selama empat bulan (1 Januari 2017 – 30 April 2017);
5. Periode data : SUF-1 (2012-2016); SUF-6 dan SUF-7 (2014-2016);
6. Pengaruh meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), *car free day*, libur panjang serta status hari di Analisis menggunakan *Multilevel Model*.

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan ini adalah:

1. Mendapatkan persamaan untuk alat pemantau udara berbasis *microcontroller* dengan sensor MQ-7;
2. Mengetahui kondisi konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> secara visual dan dibandingkan dengan baku mutu Kota Surabaya dan peraturan-peraturan terkait sehingga membantu pemerintah Kota Surabaya. Selain itu, hasil evaluasi ini merupakan tahap awal untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat dan menjadi bahan evaluasi kebijakan untuk Pemerintah Kota Surabaya untuk perbaikan lingkungan dengan cara memperbaiki kualitas udara;
3. Mengetahui pola harian berulang (*diurnal pattern*) konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> pada stasiun pemantau udara SUF-1, SUF-6 dan SUF-7. Dengan mengetahui pola harian rata-rata, sehingga dapat ditentukan waktu atau jam puncak (*peak*) dan dapat dikaitkan untuk penentuan kebijakan pengendalian pencemaran udara di Kota Surabaya, seperti rekayasa lalu lintas dan penambahan luas area *car free day*.
4. Mengetahui pengaruh meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), *car free day*, dan libur panjang terhadap konsentrasi udara CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> dengan menggunakan *Multilevel Model*. Jika program *car free day* dirasa mampu menurunkan konsentrasi polutan, maka program ini dapat dikembangkan dengan cara penambahan luasan area atau penambahan lokasi di jalan-jalan Surabaya. Selain itu, pengaruh libur panjang terhadap kualitas udara ambien dapat dijadikan informasi bagi Pemerintah Surabaya dalam program pengendalian, misalnya jika diketahui libur panjang yang mengakibatkan peningkatan pencemar udara dikarenakan banyak kendaraan yang melintas maka informasi ini bisa diterapkan untuk menentukan kebijakan pemerintah untuk segera menindaklanjuti program transportasi yang telah didesain seperti penggunaan transportasi massal pada hari libu. Informasi kualitas udara juga dapat ditunjukkan kepada pemerintah pusat agar segera memberikan fasilitas dana dalam pembangunan transportasi di Surabaya.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Udara dan Udara Ambien**

Udara merupakan campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Dalam udara terdapat Oksigen ( $O_2$ ) untuk bernafas,  $CO_2$  untuk proses fotosintesis oleh klorofil daun dan Ozon ( $O_3$ ) untuk menahan sinar *ultra violet* (Sugiarti, 2009).

Udara Ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan atmosfer yang berada di dalam wilayah yuridiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. (Peraturan Gubernur DIY Nomor 8 tahun 2010 tentang program Langit Biru Tahun 2009-2013).

#### **2.2 Pencemaran Udara**

Pencemaran udara atau polusi udara adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke udara menyebabkan kualitas udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. (Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 424/MENKES/SK/IV/2003; Peraturan Pemerintah RI nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara).

Menurut Kristanto (2002), pencemaran udara merupakan hadirnya satu atau beberapa kontaminan di dalam udara atmosfer di luar seperti debu, busa, gas, kabut, bau-bauan, asap atau uap dalam jumlah yang banyak dengan berbagai sifat dan selang waktu berlangsungnya kontaminan di udara tersebut sehingga menimbulkan gangguan-gangguan terhadap kehidupan manusia, tumbuhan ataupun hewan.

##### **2.2.1 Penyebab Pencemaran Udara**

Pada dasarnya penyebab pencemaran udara ialah ketika udara di atmosfer dicampuri dengan zat atau radiasi yang berpengaruh buruk terhadap organisme hidup. Kemudian ditambah oleh ulah manusia karena pola hidupnya sehingga kadar

pencemar semakin meningkat dan memberikan kontribusi cukup besar terhadap pencemaran udara di Indonesia (Woeryanto, 2003).

Transportasi di kota-kota besar merupakan sumber pencemaran udara yang terbesar, dimana 70% pencemaran udara diperkotaan disebabkan oleh aktivitas kendaraan bermotor (Kusminingrum dan Gunawan, 2008). Kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama yakni sekitar 59.2%. Kendaraan berbahan bakar bensin menghasilkan gas CO yang lebih banyak daripada kendaraan berbahan bakar solar (Bardeschi *et al*, 1991). Menurut data Badan Pusat Statistik (2012), jumlah kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya dengan rincian jumlah Mobil Penumpang sebanyak 9,548,866 unit dan jumlah Sepeda Motor sebanyak ±68,839,341 unit pada tahun 2011. Tercatat pula pada tahun 2013 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia ± 85,890,996 unit (Kementrian PU, 2013).

Menurut Azhari (2014), hampir sebagian besar pada mesin-mesin industri dan kendaraan bermotor menggunakan bahan bakar bensin dan solar yang tergolong kurang ramah lingkungan karena pada umumnya polutan yang mencemari udara berupa gas dan asap. Gas dan asap tersebut berasal dari hasil proses pembakaran yang tidak sempurna, yang dihasilkan oleh mesin-mesin pabrik, pembangkit listrik dan kendaraan bermotor. Selain itu, gas dan asap hasil oksidasi dari berbagai unsur penyusun bahan bakar, yaitu CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>x</sub> (belerang oksida) dan NO (Nitrogen oksida).

## **2.2.2 Sumber Pencemar Udara**

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, yang termasuk sumber pencemar adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sumber pencemar udara terbagi atas beberapa kategori antara lain:

Berdasarkan sumbernya yang terdiri atas :

- Sumber Alami: Sumber pencemar berasal dari aktivitas alami misalnya emisi vulkanik (di daerah

pegunungan) dan di daerah pantai dengan banyaknya rawa dan hutan bakau yang dapat menghasilkan konsentrasi gas metana yang tinggi.

- Sumber Antropogenik: Sumber pencemar berasal dari kegiatan manusia. Misalnya kendaraan bermotor dan industri.

Berdasarkan pencemarnya terdiri atas:

- Pencemar Spesifik: Pencemar yang berasal dari sumber spesifik di suatu tempat tertentu. Misalnya: debu atau partikulat dari industri semen dan amonia dari industri pupuk.
- Pencemar Indikatif: pencemar bersifat umum dan ditemukan hampir di semua tempat. Misalnya: CO, Oksida Nitrogen dan *Total Suspended Particulat*.

Berdasarkan keadaan sumber pencemarnya yang terdiri atas:

- Sumber Tetap (*Stationary Sources*) yaitu Sumber pencemar yang tidak berpindah lokasi. Misalnya: Pembangkit Listrik, Pemukiman, dan Industri.
- Sumber Bergerak (*Mobile Sources*) yaitu sumber pencemar dapat berpindah tempat. Misalnya: kendaraan bermotor, kereta api dan pesawat terbang.

Berdasarkan distribusi ruangnya yang terdiri atas:

- Sumber Titik (*Point Sources*) yaitu sumber pencemar yang berada di tempat tertentu. Misalnya: industri.
- Sumber Garis (*Line Sources*) yaitu sumber pencemar yang dapat berpindah tempat sehingga terdistribusi pada jarak tertentu. Misalnya: kendaraan bermotor.
- Sumber Area (*Area Sources*) yaitu sumber pencemar dimana sumber pencemar terdistribusi dalam area tertentu. Misalnya: kebakaran hutan.

Berdasarkan pembentukan pencemarnya yang terdiri atas:

- Pencemar Primer yaitu adalah pencemar udara yang komposisinya tidak mengalami perubahan dalam atmosfer, baik secara kimiawi maupun fisik dalam jangka waktu tertentu. Misalnya: CO, CO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>.

- Pencemar Sekunder yaitu pencemar yang terbentuk di atmosfer sebagai hasil reaksi-reaksi atmosferik. Misalnya: hidrolisis, reaksi fotokimia dan oksidasi.

Menurut Wardhana (dalam Sugiarti 2009), zat pencemar udara utama yang berasal dari kegiatan manusia berupa gas buangan hasil pembakaran bahan bakar fosil dan industri. Perkiraan persentase komponen pencemar udara utama di Indonesia khususnya transportasi dan industri yaitu:

- Karbon monoksida (CO): 70.50%
- Oksida Sulfur (SO<sub>x</sub>): 0.9%
- Nitrogen Oksida (NO): 8.9%
- Partikulat sebesar: 1.33%
- Hidrokarbon (HC): 18.34%

### **2.2.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara**

Pencemaran udara yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

#### **a. Meteorologi dan Iklim**

##### **1. Temperatur**

Pergerakan mendadak lapisan udara dingin ke suatu kawasan industri dapat menimbulkan inversi atmosfer, yaitu kondisi dimana udara dingin akan terperangkap dan tidak dapat keluar dari kawasan tersebut dan akan menahan polutan tetap berada di permukaan bumi sehingga konsentrasinya semakin lama semakin meningkat. Pada keadaan tersebut, di permukaan bumi dapat dikatakan tidak ada pertukaran udara sama sekali. Kondisi tersebut dapat bertahan hingga beberapa hari atau beberapa minggu, maka udara yang berada dekat dengan permukaan bumi akan penuh akan polutan sehingga dapat menimbulkan keadaan yang kritis bagi kesehatan.

##### **2. Arah dan kecepatan angin**

Kecepatan angin yang kuat dapat membawa polutan kemanapun sesuai arahnya sehingga dapat mencemari daerah lain pada jarak yang jauh. Sebaliknya, kecepatan angin yang lemah polutan akan menetap dan semakin bertambah di kawasan sumber pencemarnya.



### 3. Hujan

Air hujan sebagai pelarut umum akan melarutkan bahan polutan yang terdapat di udara. Kawasan industri yang menggunakan batubara akan menghasilkan gas  $\text{SO}_2$  dan apabila gas tersebut bercampur dengan air hujan akan terbentuk asam sulfat sehingga air hujan bersifat asam disebut hujan asam.

#### b. Topografi

##### 1. Dataran rendah

Di dataran rendah, angin cenderung membawa polutan terbang ke seluruh penjuru daerahnya dan dapat melewati batas negara dan mencemari udara di negara lain.

##### 2. Dataran tinggi

Di dataran tinggi sering terjadi inversi atmosfer sehingga polutan hanya berada di kawasan tersebut. Sehingga tetap menahan polutan berada di permukaan bumi.

##### 3. Lembah

Di daerah lembah, aliran angin sedikit sekali dan tidak bertiup ke segala arah. Keadaan ini akan menahan polutan yang ada di permukaan bumi (Chandra, 2006).

## 2.3 Parameter Penelitian

Parameter yang diteliti meliputi sumber penyebab pencemaran udara CO yang mewakili untuk sektor transportasi dan  $\text{SO}_2$  untuk mewakili sektor industri di Surabaya, sedangkan  $\text{PM}_{10}$  untuk keduanya.

### 2.3.1 Karbon monoksida (CO)

CO adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Gas ini terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin pembakaran dalam.

Menurut Ferdiaz (1992), CO adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan juga tidak berasa. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Karbon monoksida mudah terbakar dan bersifat racun. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu hemoglobin.

#### **2.3.1.1 Sumber Pencemar Gas CO**

Emisi CO berasal dari sumber polusi yang utama berasal dari transportasi, dimana hampir 60% dari polutan yang dihasilkan terdiri dari CO dan sekitar 15% terdiri dari hidrokarbon (HC). Menurut laporan WHO (1992), menyatakan bahwa paling tidak 90% dari CO di udara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor, kemudian diikuti asap rokok juga mengandung CO.

Menurut Ferdiaz (2003), sumber polusi utama berasal dari transportasi di mana hampir 60 % dari polutan yang dihasilkan terdiri dari karbon monoksida dan sekitar 15 % terdiri dari hidrokarbon. Sumber – sumber polusi lainnya adalah pembakaran, proses industri, pembuangan limbah dan lain – lain. Di dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2006 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor lama terdapat peraturan tentang emisi gas buang, salah satunya adalah nilai ambang batas emisi gas buang.

CO adalah pencemar yang diakibatkan oleh konversi energi atau biasa disebut emisi gas buang yang terjadi pada kendaraan bermotor. Emisi gas buang kendaraan bermotor adalah sisa hasil pembakaran yang terjadi didalam mesin dan kemudian dibuang melalui sistem pembuangan mesin. Penelitian yang dilakukan oleh Mohamad *et al* (2015) menyatakan bahwa polusi CO yang timbul di dominasi oleh kendaraan bermotor (baik kendaraan pribadi maupun kendaraan umum).

Emisi kendaraan bermotor di jalan disebabkan oleh tiga faktor yaitu volume total kendaraan bermotor; karakteristik kendaraan bermotor; kondisi umum lalu lintas saat itu (Zongan, dkk, 2005). Emisi CO umumnya meningkat saat terjadi kemacetan di jalan. Selain itu CO juga dihasilkan dari aktivitas transportasi lain seperti pesawat terbang dan kereta api, proses pembakaran bahan

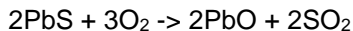
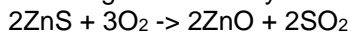
bakar, pembakaran kayu, pembakaran sampah serta aktivitas industri.

### 2.3.2 Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>)

SO<sub>2</sub> merupakan rumus kimia untuk gas Sulfur dioksida. Gas ini berasal dari hasil pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur dan sukar dideteksi karena merupakan gas tidak berwarna. Selain dari bahan bakar, sulfur juga terkandung dalam pelumas. SO<sub>2</sub> merupakan gas yang tidak berwarna, tidak *flammable* (tidak mudah terbakar), maupun tidak *explosive* (tidak mudah meledak). Gas ini memiliki kelarutan dalam air sebesar 11.3 g/100 ml pada suhu °C, berat molekulnya 64.06 dan dua kali lebih berat daripada udara.

#### 2.3.2.1 Sumber Pencemar Gas SO<sub>2</sub>

Pencemaran SO<sub>x</sub> diudara terutama berasal dari pemakaian batu bara yang digunakan pada kegiatan industri, transportasi, dan lain sebagainya. Belerang dalam batu bara berupa mineral besi peritis atau FeS<sub>2</sub> dan dapat pula berbentuk mineral logam sulfida lainnya seperti PbS, HgS, ZnS, CuFeS<sub>2</sub> dan Cu<sub>2</sub>S. Dalam proses industri besi dan baja (tanur logam) banyak dihasilkan SO<sub>x</sub> karena mineral-mineral logam banyak terikat dalam bentuk sulfida. Pada proses peleburan sulfida logam diubah menjadi oksida logam. Proses ini juga sekaligus menghilangkan belerang dari kandungan logam karena belerang merupakan pengotor logam. Pada suhu tinggi sulfida logam mudah dioksida menjadi oksida logam. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Sebagai pencemar udara, SO<sub>2</sub> diperkirakan memiliki waktu tinggal dalam udara antara 2 sampai 4 hari, dan dalam waktu tinggal tersebut SO<sub>2</sub> dapat ditransportasikan sejauh 1000 km, sehingga dapat dikatakan SO<sub>2</sub> relatif stabil dalam atmosfer. Sehingga masalah pencemaran SO<sub>2</sub> menjadi masalah internasional.

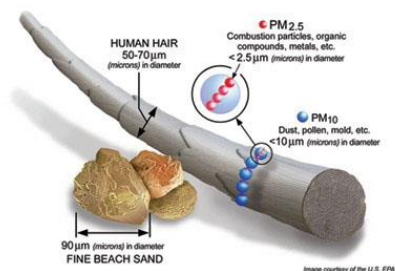
SO<sub>2</sub> dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung unsur sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan

bijih-bijih yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi. Menurut Sudrajad (2009), emisi  $\text{SO}_2$  terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar, selain itu kandungan sulfur dalam pelumas juga menjadi penyebab terbentuknya emisi  $\text{SO}_2$ .

### 2.3.3 *Particulate Matter* ( $\text{PM}_{10}$ )

Parameter yang diukur dalam menentukan kualitas udara salah satunya adalah  $\text{PM}_{10}$ , baik dalam ruangan maupun di luar ruangan.  $\text{PM}_{10}$  adalah partikulat padat atau cair yang melayang di udara dengan nilai ukuran diameter aerodinamik kurang dari 10 mikron.  $\text{PM}_{10}$  lebih spesifik merupakan partikulat yang *respirable* dan prediktor kesehatan yang baik.  $\text{PM}_{10}$  memiliki probabilitas yang lebih tinggi untuk dapat masuk ke saluran pernapasan bagian bawah karena diameter partikel yang kecil secara potensial dapat melewati saluran pernapasan bagian bawah.

Jannsen (2011) memaparkan bahwa *particulate matter* (PM) adalah campuran heterogen bervariasi dalam sifat fisika kimia tergantung pada kondisi meteorologi dan sumber emisi. Standar kualitas udara saat ini untuk PM menggunakan konsentrasi massa PM. PM dengan diameter aerodinamis  $\leq 10\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) atau  $\leq 2,5\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) sebagai metrik, yang didukung oleh studi kesehatan menunjukkan asosiasi yang kuat antara konsentrasi massa ambien PM dan beragam efek yang merugikan kesehatan.



Sumber : EPA, 2013

**Gambar 2.1 Perbandingan Ukuran  $\text{PM}_{10}$  dengan Rambut Manusia dan Pasir**

### **2.3.3.1 Sumber Pencemar PM<sub>10</sub>**

Partikulat dapat dihasilkan dari debu tanah kering yang terbawa oleh angin seperti proses vulkanis yang berasal dari letusan gunung berapi. Partikulat juga dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar yang mengandung senyawa karbon murni atau bercampur dengan gas-gas organik, seperti halnya penggunaan mesin diesel yang tidak terpelihara dengan baik dan pembakaran batu bara yang tidak sempurna sehingga terbentuk aerosol kompleks dari butiran-butiran tar. Jika dibandingkan dengan pembakaran batu bara, pembakaran minyak dan gas pada umumnya menghasilkan partikulat dalam jumlah yang lebih sedikit. Kegiatan-kegiatan seperti konstruksi, penghancuran bangunan, dan jalan yang belum diaspal, akan membentuk partikulat.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (2013) menyebutkan bahwa konsentrasi CO dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: karakteristik mesin, teknologi kendaraan, karakteristik bahan bakar, usia kendaraan dan penggunaan kendaraan.

- **Karakteristik mesin**

Di negara berkembang umumnya masih terdapat mesin 4-tak dan 2 –tak, perbedaannya adalah mesin 4-tak cenderung menghasilkan emisi CO, HC dan NO<sub>x</sub> namun partikelnya rendah. Mesin 2-tak memiliki emisi yang sama. Namun, lebih kotor dikarenakan adanya campuran oli yang banyak. Di Indonesia sendiri penggunaan mesin 2-tak sudah berkurang.

- **Teknologi kendaraan**

Semakin berkembangnya zaman mendorong para produsen untuk berkompetisi memproduksi kendaraan yang menghasilkan emisi yang sedikit, hal ini juga dikaitkan dengan semakin ketatnya aturan yang diterapkan di masing-masing negara.

- **Karakteristik bahan bakar**

Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk mendapatkan bahan bakar yang ramah lingkungan dengan cara memvariasikan bahan baku atau penambahan zat aditif.

- **Usia kendaraan**

Semakin tua usia kendaraan maka akan mengalami penurunan kinerja dan akan menyebabkan peningkatan emisi. Namun demikian, kendaraan yang sudah lama (tua) tidak meningkatkan emisi secara signifikan jika dirawat dengan baik, sebaliknya jika kendaraan tidak dirawat dengan baik akan menjadi penyebab peningkatan emisi CO.

- **Penggunaan kendaraan**

Penggunaan kendaraan tergantung pada perilaku individu yang mengendarai kendaraan, jika pengemudi mengendarai secara agresif (rem mendadak atau mengebut) akan mempengaruhi gas buang. Pada kondisi macet atau padat kendaraan akan menimbulkan emisi yang lebih banyak dibandingkan kondisi jalanan yang lancar.

## **2.4 Pengaruh Parameter Penelitian Terhadap Kesehatan**

### **2.4.1 Pengaruh Gas CO Terhadap Kesehatan**

Keterkaitan antara pencemaran udara di perkotaan dan kemungkinan adanya risiko terhadap kesehatan pada beberapa dekade belakangan. Pengaruh yang merugikan mulai dari meningkatnya kematian akibat adanya *episode smog* sampai pada gangguan estetika dan kenyamanan. Gangguan kesehatan misalnya kanker pada paru-paru atau organ tubuh lainnya, penyakit pada saluran tenggorokan yang bersifat akut maupun kronik, dan kondisi yang diakibatkan karena pengaruh bahan pencemar terhadap organ lain seperti paru, misalnya sistem saraf.

CO diketahui dapat mempengaruhi kerja jantung (sistem kardiovaskuler), gangguan sistem saraf pusat, janin, dan semua organ tubuh yang peka terhadap kekurangan oksigen. Pengaruh CO terhadap sistem kardiovaskuler cukup nyata teramat walaupun dalam kadar rendah. Penderita penyakit jantung dan penyakit paru merupakan kelompok yang paling peka terhadap paparan CO. Gejala dari keracunan ringan meliputi sakit kepala dan mual-mual pada konsentrasi kurang dari 100 ppm.

#### **2.4.2 Pengaruh Gas SO<sub>2</sub> Terhadap Kesehatan**

SO<sub>2</sub> menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan manusia yang bersifat kronik, selain itu SO<sub>2</sub> juga dapat menyebabkan infeksi pada saluran pernafasan utama (*bronhitis*) dan penyakit paru-paru yang berkepanjangan (*pulmonary emphysema*). Selain itu SO<sub>2</sub> juga dapat menyebabkan gangguan pencernaan, sakit kepala, sakit dada, dan saraf. Pada kadar dibawah batas ambang dapat menyebabkan kematian. Korban SO<sub>2</sub> bukan hanya manusia, tetapi juga bangunan dan tumbuhan. Keberadaan gas ini di udara dapat menimbulkan hujan asam yang dapat merusak bahan bangunan dan menghambat pertumbuhan tanaman. Standar baku mutu yang diperbolehkan menurut Peraturan Gubernur Jatim 10/2009 adalah 262 µg/Nm<sup>3</sup>.

#### **2.4.3 Pengaruh PM<sub>10</sub> Terhadap Kesehatan**

Salah satu jenis pencemar udara yang memberikan dampak yang besar terhadap kesehatan manusia adalah PM<sub>10</sub> karena bersifat respirable yang memicu terjadinya gangguan pernafasan yaitu Infeksi Saluran Pernafasan Akut (Pujiastuti, 2013). Selain itu ada beberapa efek kesehatan yang disebabkan oleh PM<sub>10</sub> meliputi:

1. Efek toksik oleh penyerapan bahan beracun ke dalam darah (misalnya timah, kadmium, seng);
2. Efek alergi atau hipersensitivitas (misalnya beberapa hutan, biji-bijian tepung, bahan kimia);
3. Infeksi bakteri dan jamur (dari organisme hidup);
4. Fibrosis (misalnya asbes, kuarsa);
5. Kanker (misalnya asbes, kromat);
6. Iritasi selaput lendir (misalnya asam dan basa); dan
7. Peningkatan gejala pernafasan, kejengkelan asma dan kematian dini. Risiko tertinggi untuk kelompok sensitif seperti orang tua dan anak-anak.

### **2.5 Pengaruh Parameter Penelitian Terhadap Lingkungan**

#### **2.5.1 Pengaruh Gas CO Terhadap Lingkungan**

Pencemaran udara dapat memberikan dampak negatif bagi makhluk hidup, manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan. Kebakaran hutan dan gunung api yang meletus menyebabkan banyak hewan yang kehilangan tempat berlindung, banyak hewan

dan tumbuhan mati bahkan punah. Asap tebal dari hasil kebakaran hutan sangat merugikan, baik dalam segi ekonomi, transportasi (udara, darat dan laut) ataupun kesehatan.

### **2.5.2 Pengaruh Gas SO<sub>2</sub> Terhadap Lingkungan**

Gas-gas oksida belerang (SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub>) bereaksi dengan uap air, dan air hujan dapat menyebabkan terjadinya hujan asam yang dapat merusak gedung-gedung, jembatan, patung-patung sehingga mengakibatkan tumbuhan mati atau tidak bisa tumbuh dengan baik.

SO<sub>2</sub> dalam konsentrasi tinggi akan mempercepat laju korosi logam-logam besi, seng, tembaga, nikel khususnya bila kelembaban lebih dari 70 %. Laju korosi meningkat menjadi 1 sampai 1,5 kali dalam udara yang tercemar dibandingkan dalam udara yang tidak tercemar. Selain itu paparan SO<sub>2</sub> dapat menimbulkan bercak pada daun dan mengakibatkan kerusakan pada struktur sel tumbuhan.

### **2.5.3 Pengaruh PM<sub>10</sub> Terhadap Lingkungan**

Menurut National Pollution Inventory, Australian Government (2013), PM<sub>10</sub> dapat mempengaruhi hewan dengan cara yang sama seperti yang mempengaruhi manusia. Partikel secara umum, tidak secara khusus PM<sub>10</sub> atau PM<sub>2,5</sub> mempengaruhi estetika dan kegunaan daerah melalui pengurangan visibilitas dan dapat mempengaruhi bangunan dan vegetasi.

## **2.6 Stasiun Pemantau Kualitas Udara**

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 424/MENKES/SK/IV/2003, monitoring kualitas udara bertujuan untuk memantau perubahan tingkat pencemaran udara yang terjadi setiap bulannya. Pada fase pra bencana, monitoring kualitas udara dilakukan untuk mengetahui gambaran dan kecenderungan adanya peningkatan tingkat pencemaran di suatu daerah. Data kualitas udara ISPU diperoleh dari Dinas Kesehatan atau dari lintas sektor Dinas Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (DPLHD) atau Laboratorium Kesehatan Daerah dan stasiun pemantauan lainnya.

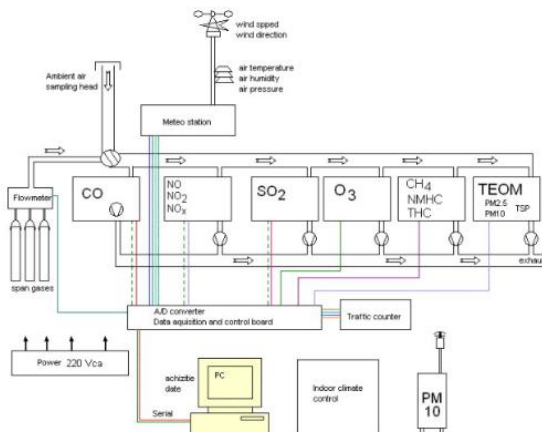


**Tabel 2.1 Lokasi Pemantau Kualitas Udara di Indonesia**

No	Kabupaten/Kota	Fixed Station	Mobile Station
1	Medan	4	1
2	Pekanbaru	3	1
3	Jambi	2 (1 untuk PM <sub>10</sub> )	-
4	Pontianak	2 (1 untuk PM <sub>10</sub> )	-
5	Palangkaraya	3	1
6	DKI Jakarta	5	1
7	Bandung	5	1
8	Semarang	3	1
9	Surabaya	7	-
10	Denpasar	6 (3 untuk PM <sub>10</sub> )	1

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2003

Adapun cara kerja dari Stasiun Pemantau Kualitas Udara secara singkat adalah sebagai berikut:



Sumber : F et al (2009)

## Gambar 2.2 Skema AQMS Horiba

Secara singkat udara ambien akan masuk melalui pompa hisap yang kemudian dialiri gas melalui *flow meter*. Udara ambien yang masuk akan terbagi-bagi menurut jenisnya. Adapun parameter yang diukur oleh HORIBA adalah NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO,

SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, NMHC dan PM (2,5 dan 10). Selain itu stasiun ini juga dilengkapi oleh alat pengukur meteorologi yang terpasang 5 meter di atas alat yang dapat mengukur kecepatan dan arah angin, kelembaban, suhu dan tekanan. Selanjutnya Semua angka yang diperoleh dari masing masing parameter akan di kalibrasi menggunakan *A/D converter* yang nantinya akan mengeluarkan satuan-satuan tertentu seperti: mg/m<sup>3</sup>, derajat (°) dan m/s. Data yang sudah keluar akan diterima dan disimpan pada PC. Udara yang sudah melewati pengukuran akan keluar kembali melalui pipa keluar dan menyatu dengan udara ambien.

**Tabel 2.2 Lokasi SUF di Surabaya**

Nomor	Lokasi	Status
SUF-1	Taman Prestasi Kantor Gubernur	Aktif
SUF-2	Perak Timur	Non-Aktif
SUF-3	Sukomanunggal	Non-Aktif
SUF-4	Gayungan	Non-Aktif
SUF-5	Gebang Putih	Non-Aktif
SUF-6	Wonorejo	Aktif
SUF-7	Kebonsari	Aktif

*Sumber : BLH Surabaya (2016)*

## 2.7 ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara)

Informasi yang disebarakan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Nomor: Kep-45/MENLH/10/1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu, yang didasarkan pada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Penggunaan ISPU sangat memudahkan masyarakat untuk mengetahui kondisi kualitas udara pada waktu tertentu karena sistem ini sangat informatif dan mudah dipahami oleh masyarakat luas.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, ISPU adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup.

ISPU ditetapkan berdasarkan 5 pencemar utama, yaitu: CO, SO<sub>2</sub>, nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), O<sub>3</sub>, dan partikel debu (PM<sub>10</sub>). Di Indonesia ISPU diatur berdasarkan Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/KABAPEDAL/11/1997.

Sesuai dengan amanat Undang – Undang Lingkungan Hidup Nomor 23 Tahun 1997 bahwa masyarakat berhak untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas lingkungan termasuk kualitas udara di Kota Surabaya ini, maka pelaporan hasil pemantauan ini dikemas dalam bahasa yang mudah dipahami oleh masyarakat umum. Informasinya diolah di *main center* lalu disampaikan dalam bentuk ISPU, yang dipublikasikan lewat papan *display*, internet (Surabaya.go.id).

**Tabel 2.3 Batas Indeks Standar Pencemaran Udara dalam Satuan SI**

Indeks Standar Pencemar Udara	24 Jam PM <sub>10</sub>	24 Jam SO <sub>2</sub>	8 Jam CO
50	50	80	5
100	150	365	10
200	350	800	17
300	420	1600	34
400	500	2100	46
500	600	2620	57.5

Adapun cara penghitungan hasil pengukuran udara ambien yang dikonversikan dalam indeks standar pencemar udara menurut Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997 adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb} (Xx - Xb) + Ib$$

keterangan :

I = ISPU terhitung	Xa = Ambien Batas Atas
Ia = ISPU Batas Atas	Xb = Ambien Batas Bawah
Ib = ISPU Batas Bawah	Xx = Kadar Ambien nyata hasil

Selanjutnya setelah diperoleh nilai SUF yang masih aktif, data akan diolah dipusat (*main enter*) yang kemudian akan di rata-rata dan dikirim ke *display* kemudian ditampilkan di ruas-ruas jalan Kota Surabaya. Tampilan *display* adalah rata-rata

dalam satu hari (dimulai pukul 3 kemarin sampai pukul 3 hari ini).

**Tabel 2.4 Angka dan Kategori Indeks Standart Pencemar Udara (ISPU) dan Dampak Kesehatan**

	Kategori	Rentang	Penjelasan
	Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau nilai estetika
	Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau nilai estetika
	Tidak Sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika
	Sangat Tidak Sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
	Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius.

**Tabel 2.5 Angka dan Kategori Indeks Standart Pencemar Udara (ISPU) Gas CO**

	Kategori	Rentang	Karbon Monoksida (CO)
	Baik	0-50	Tidak ada efek
	Sedang	51-100	Perubahan kimia darah tetapi tidak terdeteksi
	Tidak Sehat	101-199	Peningkatan pada kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung
	Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatkan kardiovaskular pada orang yang bukan perokok yang berpenyakit jantung, dan akan tampak beberapa kelemahan yang bersifat nyata
	Berbahaya	300-lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

**Tabel 2.6 Angka dan Kategori Indeks Standart Pencemar Udara (ISPU) Gas SO<sub>2</sub>**

	Kategori	Rentang	Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )
	Baik	0-50	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O <sub>2</sub> (selama 4 jam)
	Sedang	51-100	Luka pada beberapa spesies tumbuhan
	Tidak Sehat	101-199	Bau, meningkatnya kerusakan tanaman
	Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
	Berbahaya	300-lebih	Tingkat yang berbahaya bagi populasi yang terpapar

**Tabel 2.7 Angka dan Kategori Indeks Standart Pencemar Udara (ISPU) PM<sub>10</sub>**

	Kategori	Rentang	PM <sub>10</sub>
	Baik	0-50	Tidak ada efek
	Sedang	51-100	Terjadi penurunan pada jarak pandang
	Tidak Sehat	101-199	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu dimana-mana
	Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
	Berbahaya	300-lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor : KEP 45 / MENLH/ 1997

## 2.8 Peraturan-Peraturan Terkait Baku Mutu

Adapun penelitian ini menggunakan peraturan yang utama yaitu Peraturan Gubernur Jatim no 10/2009 yang nantinya akan dikomparasikan dengan baku mutu yang terkait seperti PP RI 41/1999 dan BAPEDAL. Berdasarkan peraturan-peraturan terkait udara ambien yang ada, maka berikut adalah baku mutu yang dapat digunakan antara lain sebagai berikut:

**Tabel 2.8 Peraturan Baku Mutu**

Parameter	WHO*	BAPEDAL**	PP RI no 41 ***	Pergub Jatim ****
CO	10 mg/m <sup>3</sup> (8 Jam)	10 mg/m <sup>3</sup> (8 Jam)	10 mg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	22,6mg/m <sup>3</sup> (8 Jam)
SO <sub>2</sub>	125 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	365 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	365 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	262 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)
PM <sub>10</sub>	100 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	150 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	150 µg/m <sup>3</sup> (24 Jam)	-

Sumber : \*) : World Health Organization regional office for Europe  
Copenhagen

\*\* ) : Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997

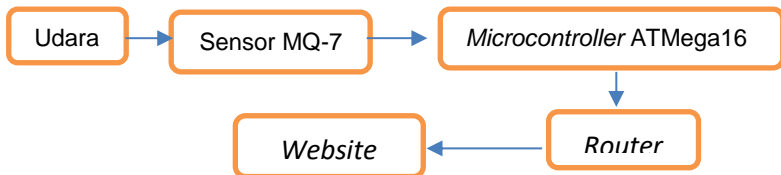
\*\*\* ) : Lampiran Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 (Baku Mutu Udara Ambien Nasional)

\*\*\*\* ) : Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009

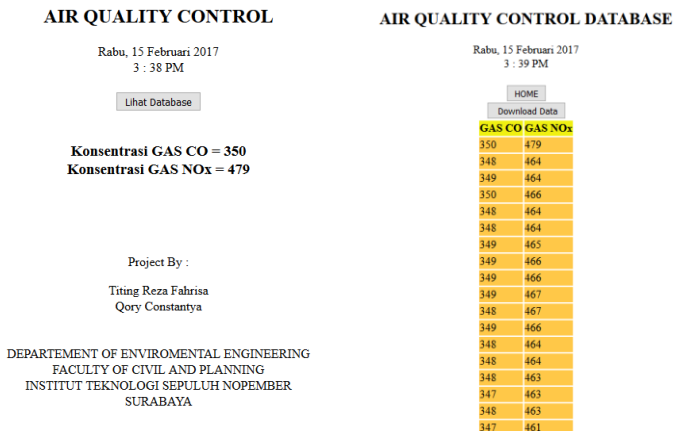
Penulis menggunakan peraturan yang sesuai dengan lokasi penelitian yaitu Pergub Jatim No 10 tahun 2009, Jika ada nilai yang kurang valid, penulis akan membandingkannya dengan peraturan.

## 2.9 Alat Pemantau Kualitas Udara Berbasis *Microcontroller*

Cara kerja alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* secara garis besar dapat dilihat dalam bagan berikut:



**Gambar 2.3 Skema Alat Pemantau Berbasis *Microcontroller***



**Gambar 2.4 Tampilan Website**

Adapun detail dari alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* dapat dilihat pada Gambar 2.5 menunjukkan selang plastik dimana udara akan ditarik atau disedot menuju sensor di bilik sebelah kanan. Di dalam selang plastik tersebut, terdapat butiran kristal untuk menyerap kandungan uap air dalam udara. Tujuannya adalah agar yang tertangkap oleh sensor adalah benar-benar gas CO murni. Gambar 2.6 menunjukkan gambar *router*. *Router* inilah yang mengirim data yang ditangkap sensor menuju halaman *website*. Gambar 2.7 menunjukkan posisi kabel penunjang.



**Gambar 2.5 Detail Komponen Dalam Alat**



**Gambar 2.6 Router**



**Gambar 2.7 Posisi Kabel Penunjang**

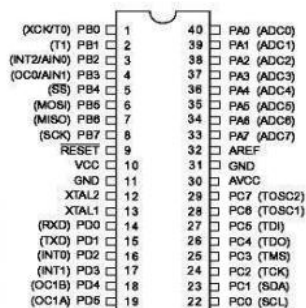


### 2.9.1 *Microcontroller*

*Microcontroller* adalah sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu *chip* IC, sehingga sering disebut *single chip microcomputer*, *microcontroller* merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik. Elemen *microcontroller* tersebut diantaranya adalah:

- Pemroses (*processor*)
- Memori
- Input* dan *output* (Chamim dan Anna, 2010)

Penggunaan *microcontroller* dalam suatu sistem minimum lebih menguntungkan dibandingkan dengan mikroprosesor sebab *microcontroller* tidak membutuhkan lagi memori dan *I/O eksternal* selama memori dan *I/O internal* dalam chip masih mencukupi (Andrianto, 2008).



**Gambar 2.6 *Microcontroller***

*Microcontroller* ATmega16 merupakan jenis *microcontroller* yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu digunakan untuk pengolahan data-data biner (digital) yang di dalamnya merupakan gabungan dari rangkaian-rangkaian elektronik yang dikemas dalam suatu chip IC (*Integrated Circuit*) (Azwar, 2013).

### 2.9.2 *Sensor MQ-7*

Sensor MQ-7 merupakan sensor gas CO yang berfungsi untuk mengetahui konsentrasi gas CO. Dimana sensor ini salah satunya dipakai dalam memantau gas CO. Sensor ini memiliki

sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cepat. Keluaran yang dihasilkan oleh sensor ini adalah berupa sinyal analog. Sensor ini juga membutuhkan tegangan *direct current* (DC) sebesar 5V. Pada sensor ini terdapat nilai resistansi sensor ( $R_s$ ) yang dapat berubah bila terkena gas dan juga sebuah pemanas yang digunakan sebagai pembersihan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. Sensor ini memerlukan rangkaian sederhana serta memerlukan tegangan pemanas (*power heater*) sebesar 5V, resistansi beban (*load resistance*), dan *output* sensor dihubungkan ke *analog digital converter* (ADC), sehingga keluaran dapat ditampilkan dalam bentuk sinyal digital. Maka nilai digital yang berupa *output* sensor ini dapat ditampilkan pada sebuah *Liquid Crystal Display* (LCD) atau alat penampil lainnya.

**Tabel 2.9 Pengujian Sensor MQ 7**

No	Fungsi yang diuji	Cara pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian
1	Kondisi sensor	Memberikan tegangan sebesar 5V pada sensor MQ-7	Sensor menghasilkan tegangan	OK
2	Menguji sensor berfungsi atau tidak	Memberikan asap rokok kesekitar sensor	Sensor dapat mendeteksi adanya CO	OK
3	Kesesuaian perbandingan konsisi ruangan tidak terdeteksi kadar CO dengan kondisi terdeteksi CO	Memeriksa hasil perhitungan kalibrasi dari data sensor	Nilai hasil perhitungan kalibrasi sesuai dengan kondisi ruangan	OK

## 2.10 Korelasi libur panjang dan *Car free day* terhadap kualitas udara

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Tan *et al* (2009,) menyatakan bahwa terjadi perbedaan konsentrasi pencemaran udara ketika periode perayaan tahun baru cina lebih rendah dibandingkan dengan non-tahun baru cina. Hal ini terjadi karena adanya hari libur sehingga kendaraan yang melintas dijalanan sepanjang tahun baru cina menjadi berkurang jika dibanding hari kerja.

*Car free day* atau hari bebas kendaraan bermotor merupakan gerakan dunia yang bertujuan mensosialisasikan kepada masyarakat dalam hal menurunkan ketergantungan masyarakat terhadap kendaraan bermotor. Kegiatan ini biasanya

didukung oleh aktivis lingkungan dan transportasi. Penelitian ini membahas tentang pengaruh adanya korelasi antara libur panjang dan *car free day* terhadap pola konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> di beberapa titik di Kota Surabaya menggunakan *Multilevel Model*.

Surabaya memiliki 3 lokasi *car free day* dilakukan setiap hari Minggu, sejak pukul 06.00 – 09.00 WIB yaitu di Jalan Raya Darmo (1,57 km), dan Jalan Tunjungan (0,65 km) dengan dengan total pelaksanaan masing-masing 50 kali dalam setahun. Sedangkan di Jalan Kertajaya (0,44 km) hanya 23 kali pelaksanaan, dan Jalan Jimerto (0,57 km) setiap hari Jumat mulai pukul 06.00 – 15.00 WIB.

Dengan adanya program *car free day* maka terjadi pengalihan polusi udara ke wilayah lain. Hal ini dikarenakan, pada masa awal pencanangan program ini banyak para pengguna yang belum mengetahui program ini, yang akhirnya mereka memilih mencari jalan alternatif agar tetap bisa ke tempat tujuan. Dalam mencari jalan alternatif tersebut terjadi kemacetan yang menyebabkan gas buang kendaraan bermotor pada jalur alternatif tersebut meningkat. Tempat atau lokasi yang biasanya memiliki kualitas udara yang normal akibat program ini menjadi meningkat.

Pelaksanaan program *car free day* harus benar-benar diperhatikan dan diperbaiki sebaik mungkin. Oleh sebab itu, diperlukan adanya studi yang dapat memberikan informasi tentang pola konsentrasi di Kota Surabaya sebagai dasar penentu kebijakan pemerintah Kota Surabaya atau pembuatan program unggulan atau program alternatif lain yang dirasa mampu memperbaiki atau meningkatkan kualitas udara ambien di Kota Surabaya.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

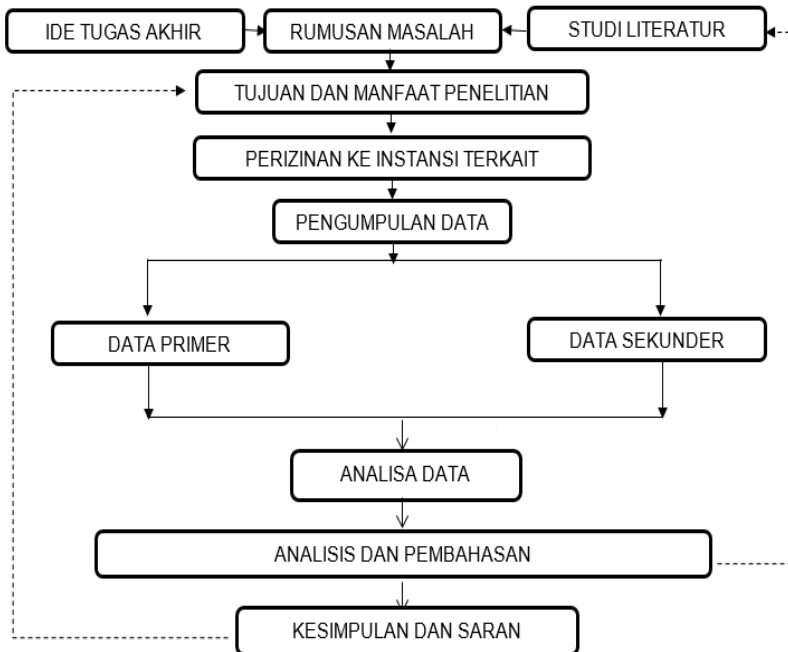
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

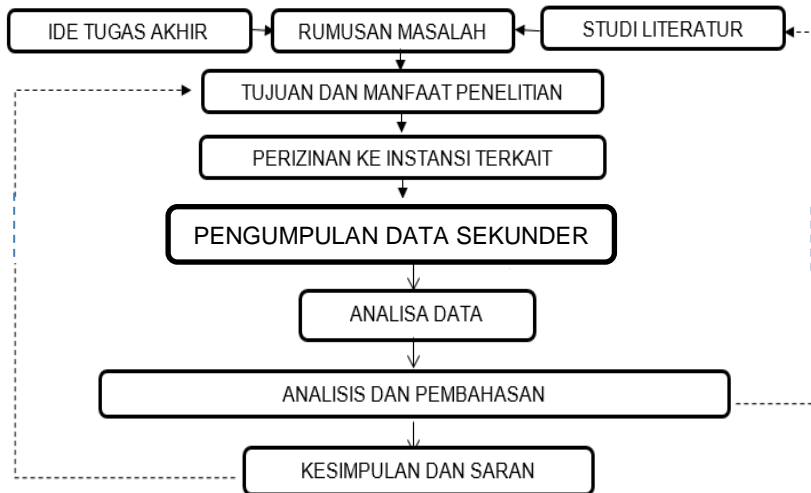
#### 3.1 Gambaran Umum Penelitian

Pada tugas akhir ini terdapat 2 penelitian, yang pertama yaitu dilakukan monitoring kualitas udara dengan menggunakan Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) yang dimiliki Pemerintah Kota Surabaya yang sering disebut SUF (*Station Unit Fixed*). Kemudian dilakukan kalibrasi dengan Alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* untuk mendapatkan formula yang dilakukan di SUF-1 Taman Prestasi.

Penelitian yang kedua yaitu dengan mengumpulkan data sekunder dari SUF-1, SUF-6 dan SUF-7 untuk mengetahui pola dan menganalisisnya. Metode penelitian ini disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan proses penelitian kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian I



**Gambar 3.2 Kerangka Penelitian II**

Dalam penelitian pertama pemantauan kualitas udara untuk parameter CO dengan menggunakan alat berbasis *microcontroller* dengan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO. Alat tersebut memiliki *output* data berupa *volt* sedangkan output yang biasanya digunakan dalam pemantaun kualitas udara adalah  $\text{mg}/\text{m}^3$  sehingga perlu adanya kalibrasi alat. Metode kalibrasi yang akan dilakukan adalah metode *co-location* dan dilakukan di stasiun pemantau udara SUF-1, Taman Prestasi di Surabaya.

Penelitian kedua yakni mengumpulkan data konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> yang diperoleh dari stasiun pemantau udara SUF-1 pada tahun 2016 dan stasiun pemantau udara SUF-6 dan SUF-7 pada tahun 2014-2016 ditentukan *diurnal pattern*-nya. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi parameter yang diteliti dan kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku. Setelah didapatkan konsentrasi dari masing-masing parameter yang diteliti yaitu CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> yang melebihi baku mutu selanjutnya dianalisis mengenai keterkaitan pengaruh faktor meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), *car free day*, akhir pekan dan libur nasional

terhadap konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub>. Adapun data konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> dan data meteorologi yang diperoleh dari DLH (Dinas Lingkungan Hidup) Kota Surabaya.

### **3.2 Kerangka Penelitian**

Kerangka penelitian merupakan gambaran awal mengenai alur penelitian. Penyusunan kerangka penelitian yang jelas dan sistematis dapat mempermudah proses pelaksanaan penelitian. Kerangka penelitian ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian dari awal hingga akhir penelitian. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

### **3.3 Penjelasan Kerangka Penelitian**

#### **3.3.1 Ide Penelitian**

Surabaya merupakan kota dengan tingkat pertumbuhan kendaraan bermotor yang cukup tinggi sehingga berpengaruh terhadap penurunan kualitas udara akibat emisi kendaraan bermotor. Sektor transportasi menyumbang polusi mencapai 60%, selebihnya sektor industri sebesar 25 % dan sisanya rumah tangga (Saepudim dan Admono, 2005). Kadar CO yang tinggi dapat mengakibatkan gangguan pada kesehatan manusia dan dapat berdampak buruk bagi lingkungan. Sehingga diperlukan pemantauan kualitas udara konsentrasi CO.

Proses penelitian dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder, monitoring dilakukan di 3 SUF yang masih beroperasi yang masing-masing ditargetkan satu minggu pada setiap samplingnya, mengingat 4 SUF yang lain sudah tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sehingga timbul opsi untuk melakukan penelitian pemantauan kualitas udara menggunakan *microcontroller* dengan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO.

Pemantauan udara menggunakan *microcontroller* ini perlu dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan formula yang sesuai. Hasil kalibrasi merupakan suatu persamaan yang nantinya akan diterapkan untuk parameter tertentu di tempat lain sehingga dapat diketahui pola konsentrasi CO harian dan jam puncak (*peak*). Setelah diketahui jam-jam padat lalu lintas, area yang terpapar CO tinggi maka dapat dikaji lebih lanjut untuk menjadi dasar penentuan

kebijakan yang dapat direkomendasikan kepada pemerintah atau *stakeholder* terkait.

### 3.3.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah muncul dari penelitian ini adalah diperlukannya pemantauan terhadap konsentrasi CO di udara ambien di 7 SUF dimana jangkauan SUF adalah 5 km. Alat yang pemantau kualitas udara yang dibuat secara ekonomis dan komponennya dapat dengan mudah dibeli di Indonesia yang memiliki kualitas yang sama dengan SUF yang diimpor dari luar negeri.

Alat pemantau CO yang dibuat terdiri dari *microcontroller* ATmega 16 dengan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO. *Output* dari alat tersebut adalah satuan tegangan atau *volt* sehingga dibutuhkan suatu kalibrasi untuk menjadi satuan  $\text{mg/m}^3$ . Dari kalibrasi tersebut dicari apa persamaan yang dihasilkan dari kalibrasi alat pemantau melalui metode *colocation* di stasiun pemantau udara SUF-1, Taman Prestasi di Surabaya.

Kemudian dilanjutkan penelitian dengan data sekunder yang diperoleh dari DLH yang meliputi SUF-1 (2012-2016) dan dari 2 SUF yaitu SUF-6 dan SUF-7 (2014-2016 kemudian dianalisis untuk mendapatkan formula konsentrasi CO, SO<sub>2</sub>, dan PM<sub>10</sub> secara *diurnal pattern* dan dicari waktu puncaknya. Setelah diketahui polanya, jam puncaknya dan faktor-faktor pendukung lain seperti meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari). Kemudian dilakukan evaluasi terhadap baku mutu yang berlaku dan dikaitkan dengan libur panjang dan program-program yang sudah diterapkan oleh pemerintah seperti *car free day*.

### 3.3.3 Perumusan Tujuan dan Manfaat

Perumusan tujuan didapatkan dari permasalahan yang telah dirumuskan. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan formula kalibrasi dari *voltage* ke satuan konsentrasi parameter CO oleh alat pemantau berbasis *microcontroller*.



2. Menentukan pola konsentrasi harian CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> harian pada tiga titik pemantauan di Kota Surabaya.
3. Mengevaluasi konsentrasi kualitas udara ambien dengan baku mutu yang berlaku.
4. Menentukan pengaruh meteorologi (arah angin, kecepatan angin), *car free day*, libur panjang, serta status hari terhadap konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub>.

Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui persamaan untuk alat pemantau udara berbasis *microcontroller* dengan sensor MQ-7;
2. Mengetahui pola harian (*diurnal pattern*) konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> pada stasiun pemantau udara SUF-1, SUF-6 dan SUF-7 dan waktu puncak (*peak*);
3. Memberikan informasi secara langsung mengenai kondisi konsentrasi CO, SO<sub>2</sub>, dan PM<sub>10</sub>;
4. Mengetahui pengaruh meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin, serta radiasi matahari), *car free day* dan libur panjang terhadap konsentrasi udara CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> di Surabaya.

### 3.3.4 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendukung proses penelitian dari awal hingga akhir. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori atau dasar yang kuat terkait penelitian yang akan dilakukan yang telah dilakukan. Media studi literatur dapat berupa buku literatur, jurnal ilmiah, atau laporan penelitian serupa sebelumnya.

Penelitian terdahulu oleh Masiol *et al* (2014), menyatakan bahwa polusi udara hasil pemantauan per jam di kota besar akibat adanya program *car free day* didapatkan emisi kendaraan jalan buang salah satunya adalah CO yang memiliki struktur bimodal karena puncak lalu lintas di 7-9 pagi dan 6-8 sore. Liburan panjang juga dapat membawa efek yang sangat signifikan yang didukung oleh penelitian oleh Tan *et al* (2009) yang menyatakan efek liburan Cina berpengaruh pada konsentrasi pencemar udara secara signifikan antara hari libur

(CNY) dan non-liburan (NCNY). Dan periode CNY mampu membantu penurunan emisi lokal. Adapun literatur lain yang dibutuhkan dalam penentuan pola konsentrasi CO di Kota Surabaya menggunakan stasiun pemantau berbasis *microcontroller* mengenai:

- a. Pengertian monitoring dan sistem pemantau udara berbasis *microcontroller*;
- b. Perhitungan kalibrasi alat pemantau udara parameter CO;
- c. Faktor-faktor dominan yang mempengaruhi (pengaruh meteorologi).

### 3.3.5 Perizinan ke Instansi Terkait

Tahap perizinan dilakukan pada bulan Desember yang ditujukan kepada Badan Kesatuan Bangsa dan Politik yang nantinya diteruskan kepada DLH kota Surabaya. Perizinan diperlukan untuk pemasangan alat di SUF-1 Taman Prestasi dan permohonan data sekunder kepada DLH yang terletak di Kantor Pemerintahan Surabaya.

### 3.3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan menggunakan 2 data yaitu data primer dan data sekunder. Data yang akan diambil dapat dilihat pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1 Data Primer dan Sekunder yang Dibutuhkan**

Jenis Data	Uraian Data	Sumber
Primer	Persamaan kalibrasi pemantau udara berbasis <i>microcontroller</i> dengan sensor MQ7	Pengukuran konsentrasi CO di SUF Taman Prestasi menggunakan alat pemantau udara berbasis <i>microcontroller</i>
Sekunder	➤ Data konsentrasi CO di SUF Taman Prestasi	

- Data konsentrasi CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> pada stasiun pemantau udara di SUF 1, SUF-6 dan SUF-7 di Surabaya
  - Data Meteorologi Kota Surabaya
- 

DLH Surabaya

### 3.3.7 Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

- Mengkalibrasi alat pemantau udara berbasis *microcontroller* dengan metode *co-location*. Dari metode *co-location*, grafik karakteristik sensor saat mendeteksi gas polutan dapat dibuat persamaan matematika yang menyatakan hubungan antara tegangan yang dihasilkan sensor dengan konsentrasi gas yang terdeteksi. Adapun langkah metode kalibrasi adalah sebagai berikut:
  1. Meletakkan alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* di area dekat SUF-1 selama 7 hari.
  2. Diperoleh grafik pola hasil pemantauan SUF-1 dengan sumbu x adalah waktu (jam) dan sumbu y adalah konsentrasi CO (mg/m<sup>3</sup>).
  3. Diperoleh grafik pola hasil pemantauan alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* dengan sumbu x adalah waktu (jam) dan sumbu y adalah *millivolt* (mV).
  4. Diperoleh grafik gabungan dengan sumbu x yaitu konsentrasi CO (mg/m<sup>3</sup>) dari SUF-1 dan sumbu y adalah *millivolt* (mV) dari hasil alat pemantauan kualitas udara berbasis *microcontroller*.
  5. Diperoleh persamaan  $y = ax + b$ , dengan y adalah variabel konsentrasi dalam mg/m<sup>3</sup> dan nilai x didapatkan dari alat pemantau udara berbasis *microcontroller*. Kesimpulan persamaan semakin mendekati 1 yang menandakan korelasi yang baik.
- Melakukan analisis dengan membuat grafik dengan sumbu X adalah waktu (jam) dan sumbu Y adalah konsentrasi CO (mg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), dan PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>).

Dari grafik tersebut dapat diketahui pola konsentrasi CO, SO<sub>2</sub>, dan PM<sub>10</sub> secara *diurnal pattern* dan puncak dari konsentrasi CO, SO<sub>2</sub>, dan PM<sub>10</sub>.

- Analisis *Multilevel Model* akan digunakan untuk menentukan pengaruh faktor meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), *car free day* dan libur panjang terhadap konsentrasi CO, SO<sub>2</sub>, dan PM<sub>10</sub>. Analisis deskriptif tersebut meliputi nilai maksimal, nilai minimal, maupun rata-rata nilai dari variabel juga akan dilakukan.

### 3.3.8 Pembahasan Data

Pembahasan data ini merupakan pembahasan dari hasil analisis data dengan data dukung studi literatur. Adapun persentase data yang hilang dapat di lihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Persentase Data yang Hilang**

SUF	Parameter		
	CO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
1	15.92%	78.58%	90.32%
6	25.80%	37.90%	31.97%
7	16.15%	33.58%	27.81%

### 3.3.9 Kesimpulan dan saran

Pada tahap pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yang menyatakan ringkasan penelitian dan hasil penelitian yang menjawab penuh rumusan masalah. Selain itu, juga dilakukan penulisan saran untuk penyempurnaan-penyempurnaan seperlunya apabila hasil penelitian belum sesuai dengan yang diharapkan sehingga peneliti selanjutnya tidak melakukan kesalahan yang sama.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gambaran Umum Daerah Penelitian**

Stasiun pemantau kualitas udara mempunyai fungsi untuk mengetahui pencemaran udara dan memberikan informasi kepada masyarakat. Akan tetapi di Surabaya sendiri hanya ada 3 yang aktif. Adapun Lokasi penelitian antara lain:

- Stasiun Pemantau Taman Prestasi (SUF-1)
- Stasiun Pemantau Wonorejo (SUF-6)
- Stasiun Pemantau Kebonsari (SUF-7)

**Tabel 4.1 Peruntukan Lahan Stasiun pemantau Kualitas Udara di Surabaya**

<b>Lokasi Stasiun Pemantau Kualitas Udara</b>	<b>Tahun Beroperasi</b>	<b>Peruntukan Lahan</b>
Taman Prestasi	2002- Sekarang	Pusat Kota, Pemukiman, Perkantoran
Wonorejo	2013- Sekarang	Pemukiman, ruang terbuka hijau
Kebonsari	2013- Sekarang	Pemukiman, dekat Jalan Tol Surabaya-Gempol

*Sumber : Muzayannah, 2016*

- **Stasiun Pemantau di Taman Prestasi**

Terletak di pusat kota Surabaya, tepatnya di dalam Taman prestasi di Jalan Ketabang Kali, No.6, Ketabang, Kecamatan Genteng. Stasiun ini diperuntukkan untuk mewakili pusat kota, pemukiman dan perkantoran. Terletak di tepi Sungai Kalimas. Stasiun ini aktif beroperasi sejak 2002 dan sempat rusak pada tahun 2013 namun segera dibenahi hingga dapat beroperasi kembali. Area disekitar stasiun pemantau kualitas udara terdapat pemukiman, pusat perbelanjaan (Tunjungan Plaza), perhotelan (Hotel Inna Simpang dan Hotel Majapahit) dan

perkantoran (Gedung Grahadi, Kantor Dewan Perwakilan Rakyat, Kantor Pemerintahan Kota Surabaya dan lain-lain) dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1 Area sekitar SPKU di Taman Prestasi**



**Gambar 4.2 Stasiun Pemantau di Taman Prestasi**

- **Stasiun Pemantau di Wonorejo**  
Stasiun Pemantau Kualitas Udara Wonorejo terletak di dalam kebun Bibit II Jalan Wonorejo. Stasiun ini aktif beroperasi sejak 2003 dan masih aktif beroperasi hingga sekarang. Stasiun ini mewakili area Ruang Terbuka

Hijau (RTH) dan pemukiman karena lokasinya berdekatan dengan pemukiman Pondok Nirwana Surabaya. Area di sekitar SPKU Wonorejo dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3 Area sekitar SPKU di Wonorejo**



**Gambar 4.4 Stasiun Pemantau di Wonorejo**

- **Stasiun Pemantau di Kebonsari**

Terletak di Kantor Kelurahan Kebonsari, stasiun ini menggantikan stasiun sebelumnya (Gayungan) yang tidak beroperasi lagi sejak 2012. Stasiun Kebonsari ini beroperasi sejak akhir 2013, yang dikhususkan untuk mewakili area transportasi karena dekat dengan jalan tol

Surabaya-Gempol dan mewakili area pemukiman. Area di sekitar SPKU Kebonsari dapat dilihat pada Gambar 4.5

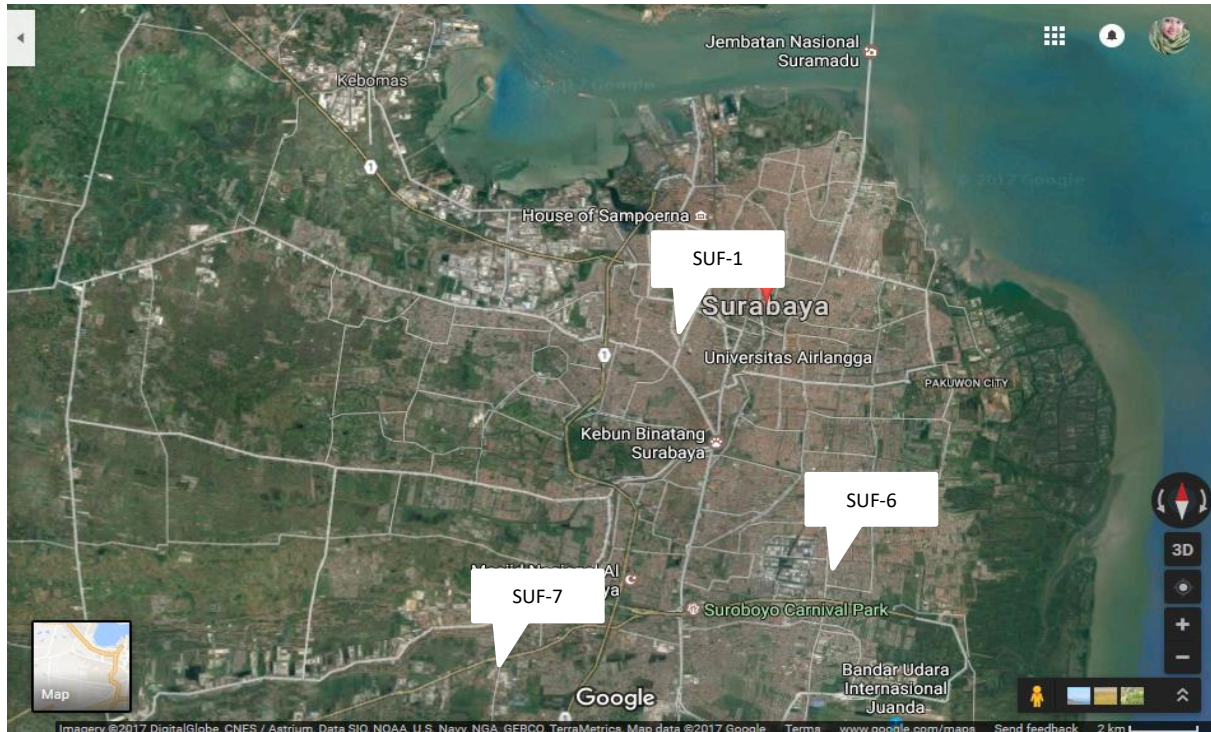


**Gambar 4.5 Area sekitar SPKU di Kebonsari**



**Gambar 4.6 Stasiun Pemantau di Kebonsari**





**Gambar 4.7 Lokasi Stasiun Pemantau Kualitas Udara yang Masih Aktif**

## 4.2 Kalibrasi Alat Pemantau Kualitas Udara Terhadap SUF-1 (Taman Prestasi)

Penelitian dilakukan di wilayah Surabaya Pusat atau lebih tepatnya di Kawasan Taman Prestasi yang terletak di Jalan Ketabang Kali No.6. Pemilihan lokasi penelitian dikarenakan wilayah ini terdapat stasiun pemantau kualitas udara SUF-1 yang dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi CO di udara ambien kemudian hasil rata-ratanya akan ditampilkan di ISPU yang terletak di ruas-ruas jalan di Surabaya. Selain itu, pemilihan lokasi penelitian ini mewakili pusat kota (*city center*) karena di sekitar tempat ini terdapat Kantor Pemerintahan Kota Surabaya, Gedung Grahadi, Kantor Walikota Surabaya dan Balai Kota Surabaya. Selain terdapat gedung administratif, terdapat pula Pusat perbelanjaan dan perhotelan seperti Tunjungan Plaza dan Hotel Inna Sempang.

### • Pengumpulan Data Primer

Data primer penelitian ini didapatkan dengan cara memasang alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* dengan bantuan selang sepanjang 3m agar dapat memompa udara masuk ke dalam alat dan ditangkap oleh sensor. Alat ini diletakkan diatas SUF-1 dengan disambungkan kabel pemanjang yang di sambungkan untuk mendapatkan listrik di dalam box. Pengambilan data primer diberikan izin oleh DLH selama seminggu yaitu Senin, 3 April – 10 April 2017. Akan tetapi alat kami mengalami suatu kendala pada pemasangan hari ke-3 yang kemungkinan dikarenakan oleh beberapa hal seperti alat yang terkena hujan lebat, sensor panas karena terlalu lama beroperasi, atau sambungan ke *website* yang terputus. Oleh sebab itu penelitian ini hanya berlangsung selama  $\pm 2$  hari dari target awal 7 hari dengan data yang diperoleh masing-masing sebanyak 80 data yang terekam selama 24 jam nonstop. Dari data tersebut dirasa sudah cukup untuk mewakili konsentrasi CO pada saat itu dan kemudian akan dijadikan perhitungan kalibrasi guna untuk mendapatkan formula yang diinginkan.

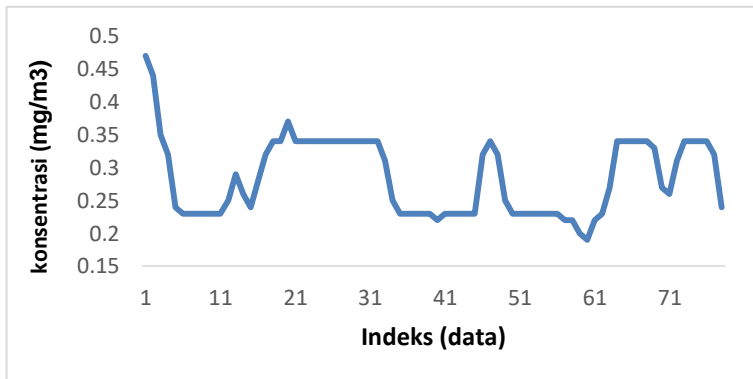


**Gambar 4.8 Gambar proses pemasangan (atas) dan pelepasan (bawah) alat di Taman Prestasi (SUF-1)**

- **Pengumpulan Data Sekunder**

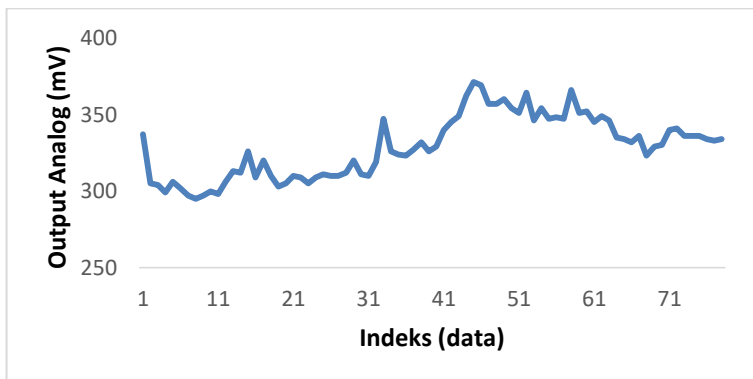
Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Surabaya yang berisikan rekam data CO pada SUF-1 Taman Prestasi yang dimulai tanggal 03 April (09.00 WIB) - 05 April 2017 (01.00 WIB). Kemudian Faktor meteorologi diasumsikan sama dengan SUF-1 sehingga nantinya akan diperoleh grafik dengan sumbu x yang mewakili *output* konsentrasi CO di SUF-1 dan sumbu y mewakili *output* alat pemantau udara berbasis *microcontroller*

(Gambar 4.11). Berikut adalah Grafik 4.9 dan 4.10 yang didapatkan dari SUF-1 dan alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller*.



*Keterangan: Indeks mewakili data setiap 30 menit secara kontinyu selama  $\pm 2$  hari. (mulai 03 April 2017 pukul 09.00 WIB).*

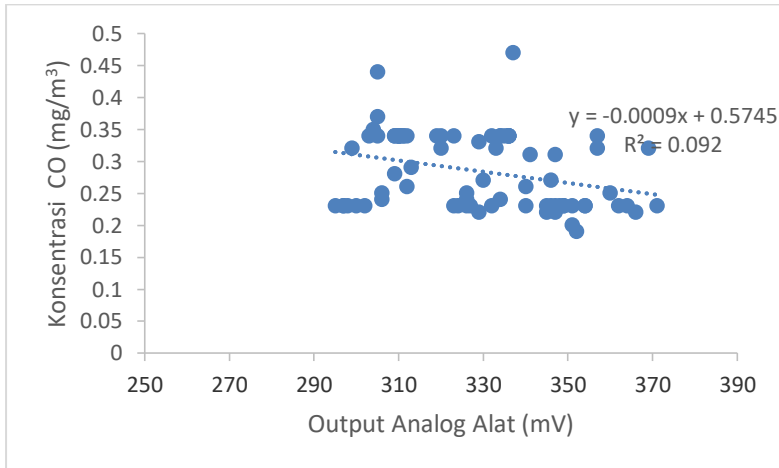
**Gambar 4.9 Grafik Konsentrasi SUF-1 (03-05 April 2017)**



*Keterangan: Indeks mewakili data setiap 30 menit secara kontinyu selama  $\pm 2$  hari (mulai 03 April 2017 pukul 09.00 WIB).*

**Gambar 4.10 Grafik *Output* Analog Alat (millivolt)**

Adapun grafik hasil kalibrasi yang menunjukkan hubungan antara Alat pemantau kualitas udara berbasis *microcontroller* terhadap SUF-1 dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11 Grafik Hasil Kalibrasi Alat Pemantau Kualitas Udara Berbasis *Microcontroller* Terhadap SUF-1**

Dari grafik hasil kalibrasi tersebut dapat dilihat persamaan yang diperoleh yaitu  $-0.0009x + 0.5745$  dan nilai regresinya sebesar  $R^2 = 0.092$ . Dari nilai regresi yang diperoleh menunjukkan angka jauh dari 1, yang artinya lemahnya hubungan antara *output* alat pemantau kualitas udara dan SUF-1 memiliki korelasi yang sangat lemah. Adapun beberapa hal yang kemungkinan menyebabkan korelasinya lemah antara lain:

- Sensor MQ-7 yang digunakan untuk mendeteksi CO tidak cocok untuk mengukur CO di udara ambien, dan
- Penempatan alat (lubang penyedot udara ambien) yang kurang presisi karena kondisi di lapangan tidak mendukung serta cuaca buruk (hujan lebat) yang mengenai alat secara langsung dapat juga menjadi penyebab korelasinya sangat rendah.

Dari beberapa kemungkinan tersebut maka perlu adanya evaluasi pada alat yang meliputi pergantian komponen dengan komponen lain yang tingkat sensitivitasnya lebih tinggi. Selain itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut secara teknis pemasangan alat pemantau udara berbasis *microcontroller* serta jumlah hari sampling sehingga mendapatkan data yang lebih banyak dengan validitas yang lebih tinggi. Data mengenai data primer dan sekunder dapat dilihat di Lampiran I.

### 4.3 Evaluasi Konsentrasi Terhadap Baku Mutu

Pada Sub-bab ini membahas tentang evaluasi yang disajikan dalam bentuk grafik berturut-turut kemudian dibatasi garis merah melintang sebagai batas baku mutu yang ditetapkan pemerintah dan peraturan yang berlaku. Perlunya dilakukan evaluasi karena belum ada penelitian serupa dalam 5 tahun terakhir. Selain itu, untuk mengetahui kondisi udara di Surabaya berdasarkan *time series*nya berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup yang kemudian dibandingkan dengan baku mutu. Dalam penelitian ini yang menjadi acuan utama adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur. Data mengenai konsentrasi parameter yang melebihi baku mutu dapat dilihat di Lampiran II.

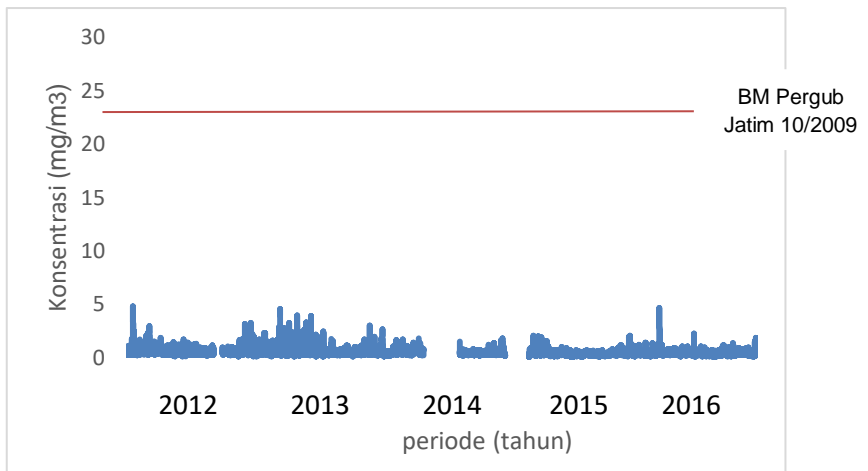
#### 4.3.1 Karbonmonoksida (CO)

Pada sub-bab sebelumnya menurut grafik *diurnal pattern*, CO tidak pernah melampaui baku mutu. Namun penulis tetap memaparkan hasil analisis CO secara singkat pada setiap tahun di semua SUF yang masih berfungsi.

**Tabel 4.2 Tabel Jumlah Data dan Persentase CO yang Hilang**

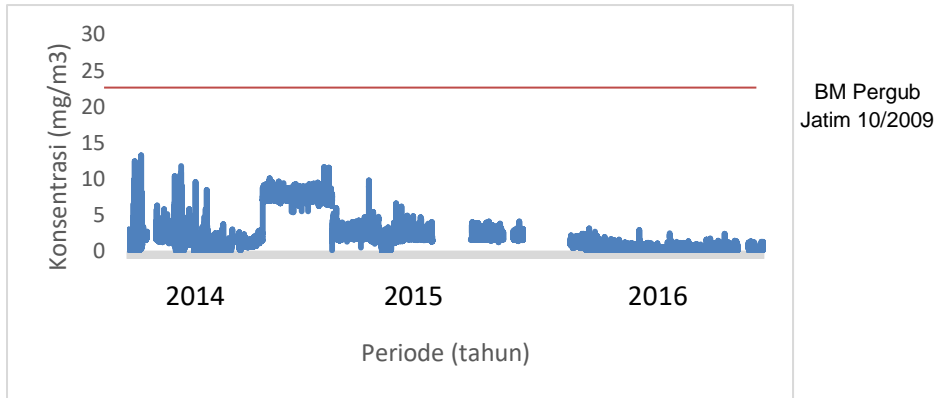
SUF	Jumlah Data Total	Jumlah Data yang Hilang	Jumlah Data yang Digunakan	Persentase Data yang Hilang(%)
1 (2012-2016)	87,697	13,962	73,735	15.92
6 (2014-2016)	52,608	13,578	39,030	25.80
7 (2014-2016)	52,608	8,499	44,109	16.15

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat banyak data yang hilang atau *blank*. Hal ini menandakan pada setiap SUF-nya tidak menyimpan data 100% utuh dalam setahun, hal ini dapat dikarenakan *error* pada *server* atau pihak Dinas Lingkungan Hidup menonaktifkan SUF dikarenakan sedang melakukan kalibrasi. Persentase data yang hilang pada masing-masing SUF yaitu SUF-1 = 15.92 %, SUF-6 = 25.80 % dan SUF-7 16.15 %. Berikut adalah grafik evaluasi CO di SUF-1 yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



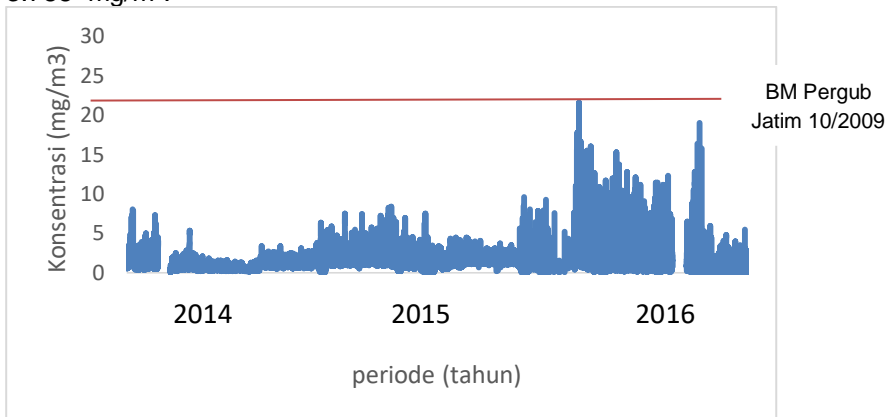
**Gambar 4.12 Grafik Evaluasi CO di SUF-1**

Grafik konsentrasi CO di SUF-1 sepanjang tahun 2012-2016 tidak pernah melampaui baku mutu dengan angka terendah yaitu  $0.018 \text{ mg/m}^3$  yang terjadi pada tanggal 13 Maret tahun 2015 dan angka tertinggi yaitu  $4.778 \text{ mg/m}^3$  pada tanggal 5 Oktober 2012. Angka-angka tersebut sangat jauh dari baku mutu yang ditetapkan yaitu  $22.6 \text{ mg/m}^3$ . Sehingga dapat dikatakan bahwa konsentrasi CO di SUF-1 dalam 5 tahun terakhir dalam kategori aman.



**Gambar 4.13 Grafik Evaluasi CO di SUF-6**

Kemudian SUF-6 konsentrasi CO memiliki nilai maksimal, minimal dan rata-rata adalah 13.327 mg/m<sup>3</sup>, 0.00032 mg/m<sup>3</sup> dan 3.788 mg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 4.14 Grafik Evaluasi CO di SUF-7**

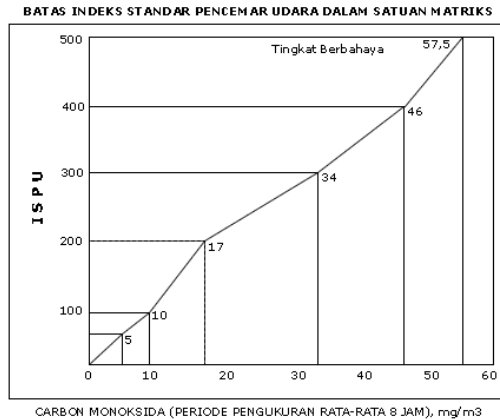


Kemudian untuk SUF-7 yang terletak di Kebonsari juga masih aman dan hampir tidak pernah melebihi baku mutu. Banyak data yang kosong (-) yang berarti stasiun pemantau kualitas udara sedang rusak atau sedang diperbaiki. Konsentrasi di SUF-7 memiliki nilai maksimal, minimal dan rata-rata yaitu 28.88 mg/m<sup>3</sup>, 0.00031 mg/m<sup>3</sup> dan 2.134 mg/m<sup>3</sup>.

**Tabel 4.3 Tabel Analisis Deskriptif**

SUF	Tahun	Max (mg/m <sup>3</sup> )	Min (mg/m <sup>3</sup> )	Mean (mg/m <sup>3</sup> )
1	2012	4.778	0.114	0.564
	2013	4.519	0.114	0.540
	2014	2.434	0.114	0.434
	2015	2.053	0.018	0.348
	2016	4.662	0.111	0.372
6	2014	13.327	0.00032	3.788
	2015	9.770	0.0029	1.940
	2016	3.116	0.00029	0.338
7	2014	8.011	0.00046	1.020
	2015	10.487	0.001	1.531
	2016	28.88	0.00031	2.134

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui pada SUF-7 Tahun 2016 adalah CO mencapai angka tertingginya yaitu 28.88 mg/m<sup>3</sup>. Parameter CO hanya mengalami satu kali (30 menit dalam sehari) melebihi baku mutu yang berasal dari arah Barat dengan kecepatan angin 0.999 m/s. Dimana sebelah Barat dari SUF-7 terdapat jalan tol Surabaya-Gempol. Peristiwa CO melebihi baku mutu hanya terjadi satu kali sehingga tidak terlalu berpengaruh pada rata-rata sepanjang tahun. Angka ini nantinya akan dimasukkan ke dalam matriks satuan internasional yang nantinya akan diperoleh nilai dan merujuk pada menurut ISPU. Sehingga dapat dikatakan bahwa parameter CO hampir tidak pernah melebihi baku mutu pada semua SUF dalam 5 tahun terakhir. Kemudian dapat disimpulkan melalui tabel deskriptif yang mewakili analisis konsentrasi CO yang tertuang dalam angka di semua SUF pada 5 tahun terakhir untuk SUF-1 dan 3 tahun terakhir untuk SUF-6 dan SUF-7.



**Gambar 4.15 Batas Indeks Standar Pencemar Udara (CO)  
Dalam Satuan Matriks**

Adapun cara menghitungnya adalah sebagai berikut: CO yang digunakan data dengan konsentrasi paling tinggi yaitu pada SUF-7 tahun 2016 yaitu sebesar 28.88 mg/m<sup>3</sup>,

Maka :

Xx = Kadar ambien nyata hasil pengukuran : 28.88 mg/m<sup>3</sup>

Ia = ISPU batas atas : 300

Ib = ISPU batas bawah : 200

Xa = Ambien batas atas : 34

Xb = Ambien batas bawah : 17

Sehingga angka-angka tersebut dimasukan dalam rumus menjadi:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{300 - 200}{34 - 17} (28.88 - 17) + 200 \\
 &= 269.8 \\
 &= 270 \text{ (Pembulatan ke atas)}
 \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi udara ambien CO 28.88 mg/m<sup>3</sup> dirubah menjadi indeks standar pencemar udara (ISPU): 270. Dimana angka 170 adalah masuk dalam rentang “Tidak Sehat” menurut ISPU dan dilambangkan dengan warna lampu kuning. Warna kuning sendiri dapat menimbulkan efek peningkatan pada kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung.

#### 4.3.2 Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>)

Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber utama sulfur adalah kegiatan pembangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak sebagai bahan bakarnya. Selain itu gas buang dari kendaraan yang menggunakan minyak solar, industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak bakar, juga merupakan sumber sulfur.

Setelah dilakukan pendekatan secara matematis didapatkan SO<sub>2</sub> dari 192,913 data diperoleh terdapat 1,439 data yang melebihi baku mutu. Evaluasi SO<sub>2</sub> terhadap baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jatim 10/2009 dapat dilihat pada Tabel 2.9. Adapun dari semua data yang telah diolah, SO<sub>2</sub> mengalami baku mutu hanya terjadi pada SUF -1 di tahun 2012.

**Tabel 4.4 Tabel Jumlah Data dan Persentase SO<sub>2</sub> yang Hilang**

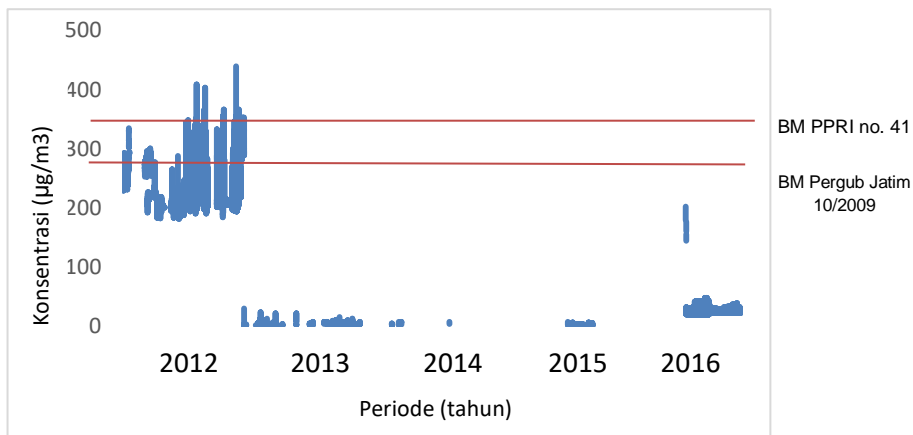
SUF	Jumlah Data Total	Jumlah Data yang Hilang	Jumlah Data yang Digunakan	Persentase Data yang Hilang(%)
1 (2012-2016)	87,697	68,914	18,783	78.58
6 (2014-2016)	52,608	19,942	32,666	37.90
7 (2014-2016)	52,608	17,669	34,939	33.58

Dengan menggunakan perangkat pengolah data dapat diketahui bahwa pada SUF-1 hanya tahun 2012 yang banyak melebihi baku mutu yang telah di tetapkan oleh Gubernur Jatim 10/2009. Berikut adalah rincian detail setaip tahunnya mengenai data yang hilang. Angka 0 mempunyai makna bahwa SUF-1 tidak merekam (*blank*) data sepanjang tahunnya (rusak).

**Tabel 4.5 Persentase SO<sub>2</sub> yang melebihi baku mutu**

SUF	Tahun	Data melebihi baku mutu	Data melebihi baku mutu (%)
1	2012	1498	7.97
	2013	0	0
	2014	0	0
	2015	0	0
	2016	2	0.01
6	2014	2	0.006
	2015	0	0
	2016	0	0
7	2014	0	0
	2015	0	0
	2016	0	0

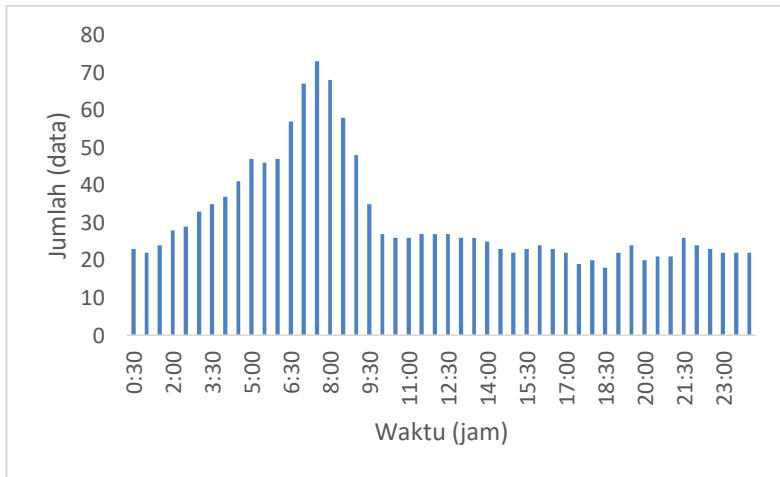
Fenomena SO<sub>2</sub> melebihi baku mutu hanya terjadi pada SUF-1 dalam 5 tahun terakhir, yaitu sebanyak 7.97% data dari 100%. Berikut adalah grafik yang menggambarkan ketika SO<sub>2</sub> melebihi baku mutu.



**Gambar 4.16 Grafik Evaluasi SO<sub>2</sub> di SUF-1 Tahun 2012**

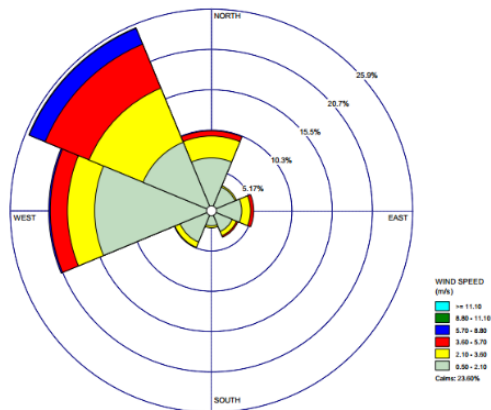
Dari Gambar 4.16 dapat dianalisis menggunakan perangkat pengolahan data dan dapat diketahui jam yang paling mendominasi ketika terjadi peristiwa SO<sub>2</sub> melebihi baku mutu baik oleh Pergub

Jatim maupun PPRI 41/1999. Berikut adalah grafik yang menggambarkan jam dominan pada saat  $\text{SO}_2$  melebihi baku mutu di SUF-1 (Taman Prestasi) berdasarkan Pergub Jatim 10/2009.



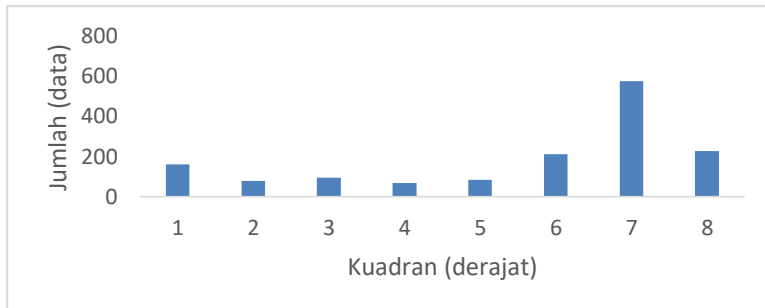
**Gambar 4.17 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter  $\text{SO}_2$  Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF-1**

Dari Gambar 4.18 dapat dilihat pada pukul 06.00 WIB  $\text{SO}_2$  mulai mengalami peningkatan hingga jam dominan antara 06.30 WIB hingga 08.30 WIB. Hal ini yang nantinya akan di cocokkan dengan *diurnal pattern* di sub-bab selanjutnya. Kemudian akan diketahui dari arah mana dan dengan kecepatan berapa angin dominan berhembus pada saat  $\text{SO}_2$  melebihi baku mutu yang dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-1**

Jika dilihat dari arah angin, arah Barat dan Barat Laut mendominasi. Hal ini menunjukkan ketika konsentrasi  $\text{SO}_2$  melebihi baku mutu, angin banyak berasal dari daerah Barat yang dibawa oleh angin dengan rata-rata kecepatan 1,56 m/s. Menurut Cahyono (2011), penelitian yang dilakukan di Jakarta menyimpulkan bahwa nilai  $\text{SO}_2$  tertinggi adalah pada kegiatan industri yaitu sebesar  $90.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kemudian transportasi  $43.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gambar pola distribusi dalam bentuk *windrose* juga dapat disajikan dalam bentuk grafik batang seperti Gambar 4.19.

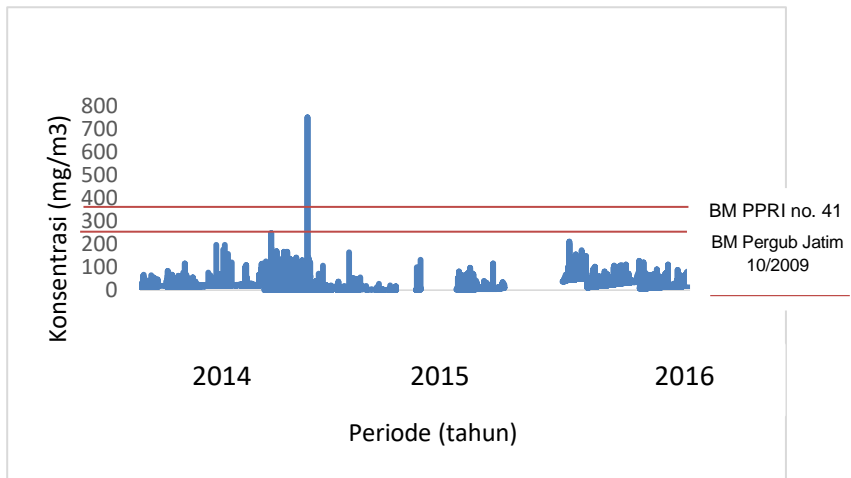


**Gambar 4. 19 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi  $\text{SO}_2$  Melebihi Baku Mutu pada SUF-1 2012**

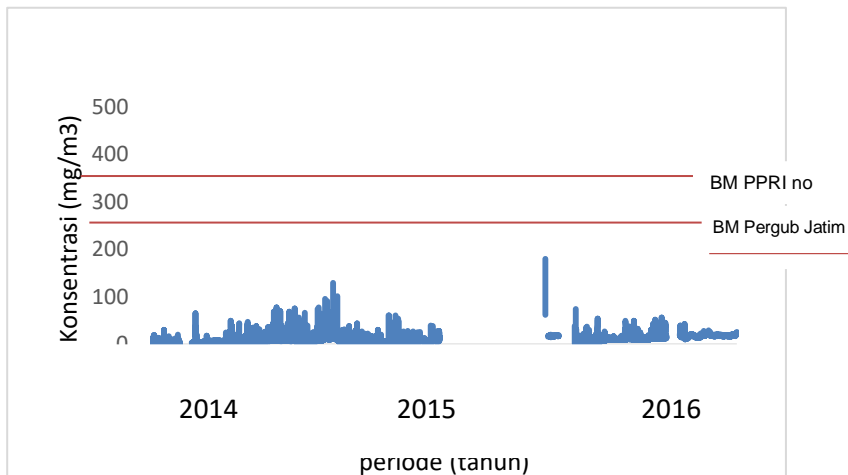
Kuadran yang dimaksudkan Gambar 4.19 adalah 8 arah mata angin, yang terdiri dari kuadran 1-8 berturut-turut : Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat ,Barat Laut. Setelah

dilakukan pendekatan mengenai penyebab  $\text{SO}_2$  tinggi hingga melebihi baku mutu di SUF-1 melalui data BPS (Badan Pusat Statistik) didapatkan informasi di sebelah Barat dan Barat Laut terdapat banyak industri, baik industri besar maupun sedang. Adapun di sebelah Barat Laut ada kecamatan Asemrowo terdapat 25 Industri besar dan 83 Industri menengah, kemudian Kecamatan Krembengan 24 Industri dan Kecamatan Pabean Cantikan dengan 26 Industri sedangkan pada bagian Baratnya terdapat Kecamatan Bubutan dan Sukomanunggal yang masing-masing memiliki 18 dan 60 industri. Hal ini lah yang menyebabkan konsentrasi  $\text{SO}_2$  tinggi pada SUF-1.

Industri yang menyumbang  $\text{SO}_2$  paling besar antara lain: industri peleburan logam, pemurnian petroleum dan pembangkit tenaga listrik. Di kecamatan Pabean Cantikan terdapat industri pengecoran logam PT Maspion Divisi Teflon dan terdapat pula PT. Indra Eramulti Logam Industri di Sukomanunggal.



**Gambar 4.20 Gambar Evaluasi  $\text{SO}_2$  di SUF-6**



**Gambar 4.21 Gambar Evaluasi SO<sub>2</sub> di SUF-7**

Berikut adalah tabel persentase data yang melampaui baku mutu pada semua SUF. Penulis menyajikannya dalam tabel deskriptif konsentrasi SO<sub>2</sub> untuk mengetahui nilai dari masing-masing SUF pada setiap tahunnya sebagai berikut:

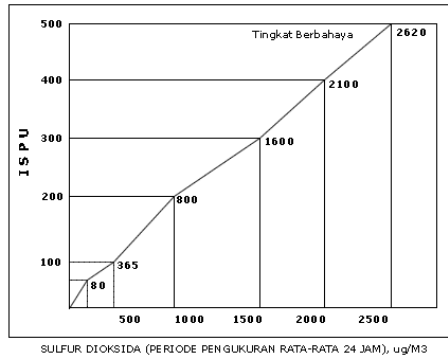
**Tabel 4.6 Analisis Deskriptif Konsentrasi SO<sub>2</sub>**

SUF	Tahun	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mean ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	2012	447.21	0.021	225.408
	2013	22.335	0.021	2.566
	2014	6.37	0.021	2.356
	2015	6.331	0.021	1.403
	2016	467.22	1.659	20.713
6	2014	752.73	0.006	20.897
	2015	165.33	0.002	6.678
	2016	687	0.02	30.047
7	2014	128.42	1.562	6.941
	2015	60.639	3.078	5.185
	2016	179.38	0.0007	13.411

Pada Tabel 4.6, data dari Analisis deskriptif dimasukkan ke dalam perangkat pengolah data untuk mengetahui rata-rata konsentrasi SO<sub>2</sub> di setiap SUF. Diperoleh nilai di SUF 1 pada tahun 2012-2016 adalah 124.752  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , SUF 6 dan SUF 7 pada tahun



2014-2016 masing – masing adalah  $22.272 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan  $8.766 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kemudian angka tersebut dapat dimasukkan ke dalam matriks untuk mengetahui konsentrasi berdasarkan indeksnya.



**Gambar 4.22 Batas Indeks Standar Pencemar Udara (SO<sub>2</sub>) Dalam Satuan Matriks**

Untuk parameter SO<sub>2</sub> digunakan data dengan konsentrasi paling tinggi yaitu pada tanggal 21 Agustus 2016 yaitu sebesar  $752,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Maka :

Xx = Kadar ambien nyata hasil pengukuran :  $752.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Ia = ISPU batas atas : 200

Ib = ISPU batas bawah : 100

Xa = Ambien batas atas : 800

Xb = Ambien batas bawah : 365

Sehingga angka-angka tersebut dimasukan dalam rumus menjadi:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{200 - 100}{800 - 365} (752.73 - 365) + 100 \\
 &= 189.13 \\
 &= 190 \text{ (Pembulatan ke atas)}
 \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi udara ambien SO<sub>2</sub>  $752.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dirubah menjadi indeks standar pencemar udara (ISPU): 190. Dimana angka 190 adalah masuk dalam rentang “Tidak Sehat” menurut ISPU dan dilambangkan dengan warna kuning. Warna kuning sendiri dapat menimbulkan efek bau dan meningkatnya kerusakan pada tanaman.

#### 4.3.3 *Particulate Matter* (PM<sub>10</sub>)

Hasil penelitian di 3 SUF menunjukkan bahwa konsentrasi PM<sub>10</sub> banyak yang melebihi baku mutu sebagai contoh pada SUF-6 pada tanggal 21 Juni 2016 sebesar 687 µg/m<sup>3</sup> dan memiliki rata-rata sebesar 29.987 µg/m<sup>3</sup> pada tahun dan SUF yang sama yang sama. Dari 192,913 data diperoleh sebanyak 2,710 data yang melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Pergub Jatim 10/2009 sebesar 260 µg/m<sup>3</sup> dan tersebar disemua SUF. Konsentrasi PM<sub>10</sub> akan berubah setiap saat, hal ini dikarenakan pada area yang berbeda konsentrasi PM<sub>10</sub> juga akan berbeda. Adapun yang dapat mempengaruhi perbedaan konsentrasi tersebut adalah luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan pengaruh meteorologi sebagai media transport dan juga karakteristik lokasi.

Evaluasi yang telah dilakukan menggambarkan bahwa hampir di semua SUF di setiap tahunnya PM<sub>10</sub> melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Hal ini karena partikel PM<sub>10</sub> dapat berasal dari mana saja termasuk sektor transportasi dan industri. Untuk lebih detail konsentrasi PM<sub>10</sub> di berbagai negara terangkum dalam tabel sebagai berikut:

**Tabel 4.7 Tabel Konsentrasi PM<sub>10</sub> di Berbagai Negara**

Kota (Tahun Penelitian)	Konsentrasi (µg/m <sup>3</sup> )	
	Rata-rata	min-maks
Chiang Mai, Thailand (1998-1999)	86.36	27-173
Stockholm (2000)	98	6-454
Seoul (2004)	155	79-254
Hyderabad, India (2004-2005)	135	41-499
Temuco, Chile (2000-2006)	48.5	5.3-321.3
Beijing, China (2009)	180	30-335
Beirut, Lebanon (2009-2010)	64	20-521
Boushan district, Shanghai, (2009-2010)	149.22	106-208
Putuo district, Shanghai, (2009-2010)	97.44	83-147

Sumber : Muzayanah, 2016

Dalam penelitian kurun waktu 1998-2013 menunjukkan bahwa konsentrasi PM<sub>10</sub> udara di beberapa kota di dunia telah

melampaui baku mutu menurut WHO. Melalui penelitian ini menunjukkan bahwa Surabaya kota ke-2 terbesar di Indonesia memiliki permasalahan yang sama.

Penelitian ini memaparkan hasil konsentrasi  $PM_{10}$  di Surabaya memang melampaui baku mutu, baik baku mutu lokal maupun internasional. Pada musim kemarau, konsentrasi  $PM_{10}$  di udara ambien berada pada kategori tercemar dibandingkan dengan musim penghujan. Berikut ini adalah tabel yang menampilkan jumlah data dan persentase ( $PM_{10}$ ) yang hilang. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8 Tabel Jumlah Data dan Persentase  $PM_{10}$  yang Hilang**

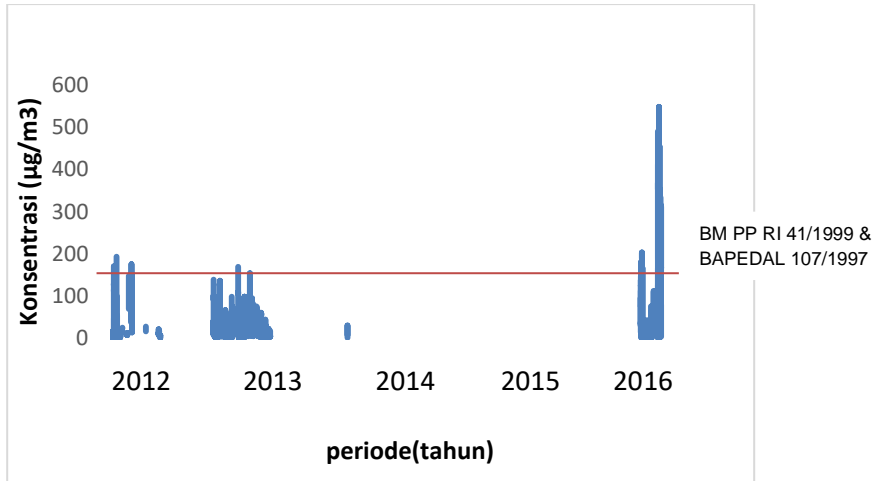
SUF	Jumlah Data Total	Jumlah Data yang Hilang	Jumlah yang digunakan	Persentase Data yang Hilang(%)
1 (2012-2016)	87,697	79,210	8,487	90.32
6 (2014-2016)	52,608	16,819	35,789	31.97
7 (2014-2016)	52,608	14,633	37,975	27.81

Dari Tabel 4.8 dapat dikerucutkan dari jumlah data yang tersedia dapat ditentukan berapa jumlah data yang melebihi baku mutu yang ditetapkan 2 peraturan yaitu PP RI 41/1999 dan BAPEDAL 107/1997 sebesar  $150 \mu g/m^3$ . Hal ini dikarenakan peraturan yang diacu yaitu Pergub Jatim 10/2009 tidak mencantumkan baku mutu untuk parameter  $PM_{10}$ , maka digunakan baku mutu lain. Dikarenakan  $PM_{10}$  melebihi baku mutu pada setiap SUF (menurut beberapa peraturan), maka dilakukan evaluasi di setiap SUF-nya. Tabel 4.9 menampilkan persentase  $PM_{10}$  yang melebihi baku mutu di SUF-1.

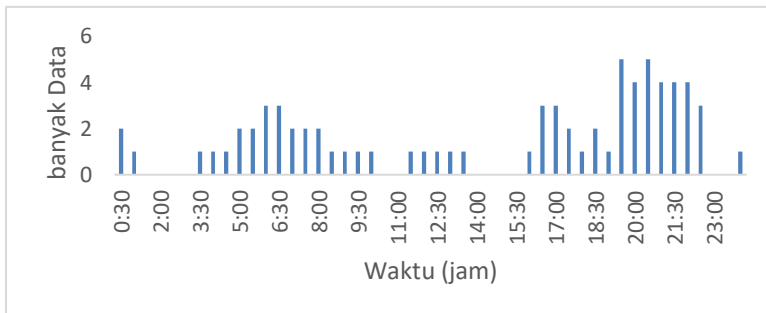
**Tabel 4.9 Tabel Persentase  $PM_{10}$  Melebihi Baku Mutu SUF-1**

SUF	Tahun	Data melebihi baku mutu	Persentase Data melebihi baku mutu (%)
1	2012	0	0
	2013	0	0
	2014	0	0
	2015	0	0
	2016	74	0.87

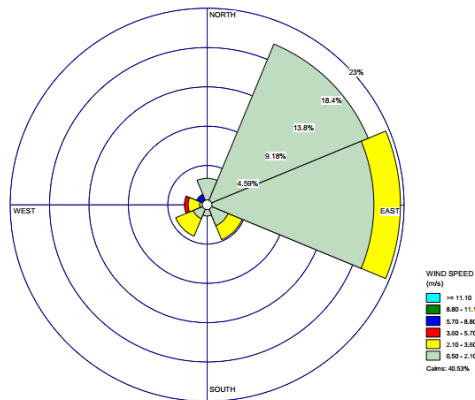
Dapat dilihat  $PM_{10}$  mempunyai persentase data yang melebihi baku mutu pada tahun 2016 sebesar 0.87% atau sejumlah 74 data yang melewati baku mutu. Selanjutnya dibentuk grafik konsentrasi  $PM_{10}$  yang melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI no 41/1999 dan BAPEDAL sebesar  $150\mu g/m^3$ .



**Gambar 4.23 Grafik Evaluasi  $PM_{10}$  di SUF-1**

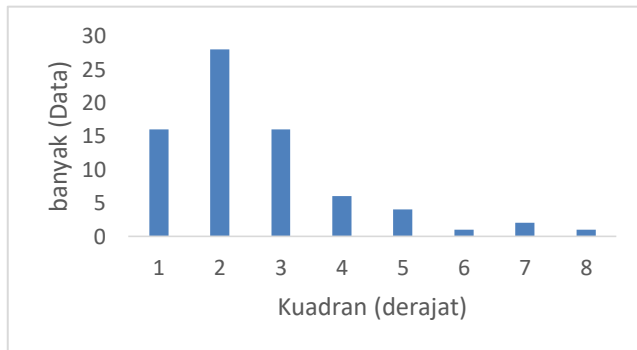


**Gambar 4.24 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter  $PM_{10}$  Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF-1**



**Gambar 4.25 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-1**

Jika dilihat dari arah angin, arah Timur dan Timur Laut mendominasi.  $\text{SO}_2$  banyak berasal dari daerah Barat yang dibawa oleh angin dengan rata-rata kecepatan 0.80 m/s. Gambar Pola distribusi dalam bentuk *windrose* juga dapat disajikan dalam bentuk grafik batang seperti Gambar 4.26.



**Gambar 4.26 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi  $\text{PM}_{10}$  Melebihi Baku Mutu pada SUF-1**

- **SUF-6**

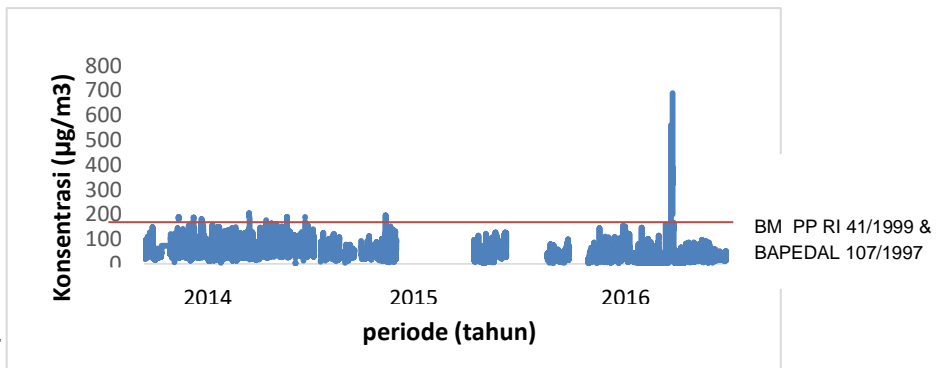
SUF-6 terletak di Taman Bibit II, Wonorejo, dimana sekitar area ini banyak terdapat area hijau yang lebih difungsikan sebagai penyerap polutan. Tanaman yang sengaja atau tidak sengaja ditanam akan membantu mengurangi polusi di udara ambien oleh

PM<sub>10</sub>. Berikut adalah persentase data yang melebihi baku mutu disajikan dalam Tabel 4.10.

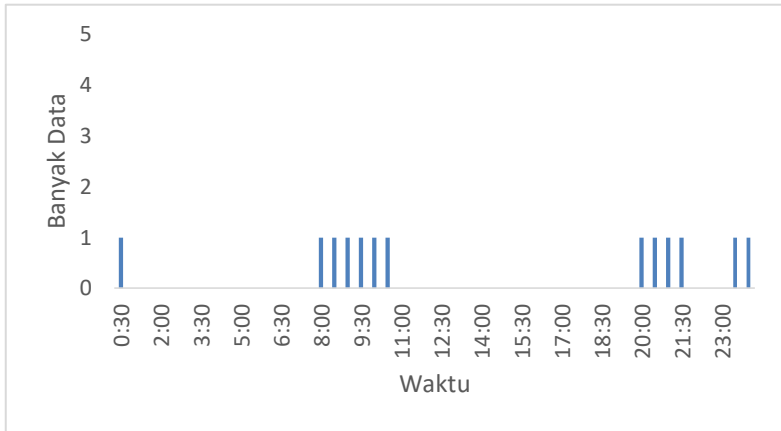
**Tabel 4.10 Tabel Persentase PM<sub>10</sub> Melebihi Baku Mutu SUF-6**

SUF	Tahun	Data melebihi baku mutu	Data melebihi baku mutu (%)
6	2014	0	0
	2015	0	0
	2016	13	0.03

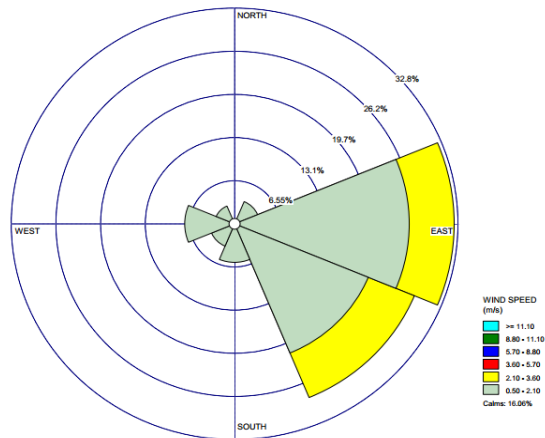
Dapat diketahui PM<sub>10</sub> melebihi baku mutu di SUF-6 sebanyak 0.03 % atau sebanyak 13 data yang melebihi baku mutu dalam satu tahun. Kemudian dibuat grafik evaluasinya untuk mengetahui secara visual ketika PM<sub>10</sub> melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Pergub Jatim 10/2009. Berikut adalah grafik evaluasi PM<sub>10</sub> yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Pergub Jatim 10/2009.



**Gambar 4.27 Grafik Evaluasi PM<sub>10</sub> di SUF-6**

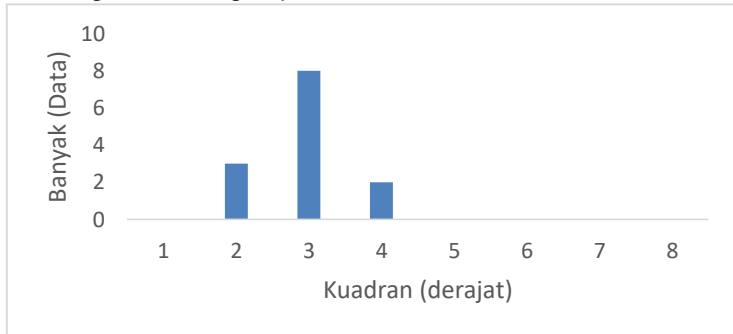


**Gambar 4.28 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter  $PM_{10}$  Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF-6**



**Gambar 4.29 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-6**

Jika dilihat dari arah angin, Timur dan Tenggara mendominasi. Hal ini terjadi karena  $\text{SO}_2$  banyak berasal dari daerah Barat yang dibawa oleh angin dengan rata-rata kecepatan 1.17m/s. Gambar Pola distribusi dalam bentuk *windrose* juga dapat disajikan dalam bentuk grafik batang seperti Gambar 4.30.



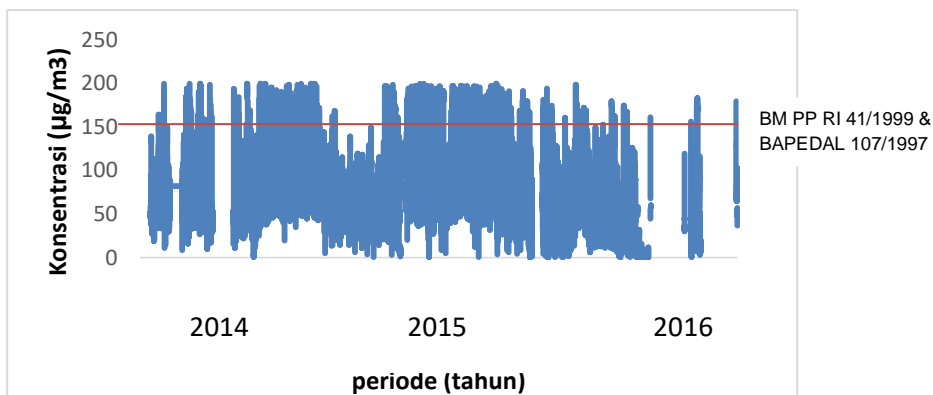
**Gambar 4.30 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi  $\text{PM}_{10}$  Melebihi Baku Mutu pada SUF-6**

Namun jika dilihat dari arah angin dimana pada SUF-6 melampaui baku mutu adalah paling besar dari arah Timur dan Tenggara. Setelah dikaji dan diteliti, diperkirakan  $\text{PM}_{10}$  besar dikarenakan angin yang berasal dari Timur dan Tenggara dimana angin tersebut berasal dari laut yang melewati daerah Rungkut. Rungkut merupakan area industri dan terdapat 15 industri besar dan 23 industri sedang, (Surabaya dalam angka, 2015).

- **SUF-7**

Stasiun ini terletak di Kebonsari merupakan SUF yang paling banyak melampaui baku mutu dalam 3 tahun terakhir. Hal ini dikarenakan lokasi SUF berada di dekat jalan tol Surabaya-Gempol, yang mana arus lalu lintas di rute ini padat setiap harinya. Berikut adalah grafik evaluasi  $\text{PM}_{10}$  di SUF-7.





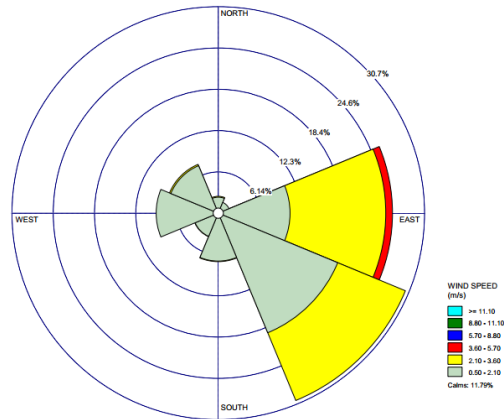
**Gambar 4.31 Grafik Evaluasi  $\text{PM}_{10}$  di SUF-7**

Kemudian dari data tersebut ternyata tidak ada yang melebihi baku mutu menurut Pergub Jatim 10/2009. Akan tetapi, banyak data yang melebihi baku mutu berdasarkan PP RI 41/1999 dan BAPEDAL 107/1997 yaitu  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Berikut adalah jumlah data di SUF-7 yang melebihi baku mutu berdasarkan WHO.

**Tabel 4.11 Tabel Persentase  $\text{PM}_{10}$  Melebihi Baku Mutu SUF-7**

SUF	Tahun	Data melebihi baku mutu*	Data melebihi baku mutu Pergub Jatim 10/2009
7	2014	3552	0
	2015	4076	0
	2016	1033	0

\*Penyesuaian baku mutu berdasarkan PP RI 41/1999 dan BAPEDAL 107/1997



**Gambar 4.32 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF-7**

Jika dilihat dari pola arah anginnya maka berasal dari Timur dan Tenggara. Hal ini sangat erat kaitannya dengan adanya jalan tol besar yang menuju kabupaten Sidoarjo. Dapat disimpulkan bahwa salah satu penyebab  $PM_{10}$  tinggi dikarenakan tol Surabaya-Gempol yang merupakan jalanan sibuk setiap harinya. Adapun pola distribusi kecepatan dan arah angina dapat dilihat di Lampiran III. Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 masing-masing menyajikan persentase  $PM_{10}$  yang melebihi baku mutu dan analisis deskriptif  $PM_{10}$ .

**Tabel 4. 12 Rekapitulasi Persentase  $PM_{10}$  Melebihi Baku Mutu**

SUF	Tahun	Data melebihi baku mutu (%)
1	2012	0
	2013	0
	2014	0
	2015	0
	2016	0.87
6	2014	0
	2015	0
	2016	0
7	2014	0
	2015	0
	2016	0

**Tabel 4.13 Analisis Deskriptif Konsentrasi PM<sub>10</sub>**

SUF	Tahun	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mean ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	2012	196	0.125	16.563
	2013	199.01	0.02	11.744
	2014	30	1.51	8.788
	2015	-	-	-
	2016	547.96	0.116	54.306
6	2014	204	1	57.602
	2015	194	1	42.056
	2016	687	0.02	29.987
7	2014	199	1	81.430
	2015	199	0.325	79.780
	2016	198	0.041	51.013

Jika dianalisis rata-rata di SUF-6 selalu lebih rendah daripada SUF-7. Hal ini berdasarkan pada karakteristik lokasi penempatan SUF itu sendiri dan peruntukannya. Jun, *et al* (2005) dan Gummeneni, *et al* (2001) melakukan penelitian tentang tanaman di RTH yang mampu menurunkan konsentrasi PM<sub>10</sub> di udara ambien dengan transport massa di udara. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi PM<sub>10</sub> di dalam RTH lebih rendah daripada di luar RTH.

Jika dilihat dari Analisis deskriptifnya, SUF-1 pada tahun 2016 mempunyai rata-rata konsentrasi yang tinggi yaitu 54.306  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hampir sama dengan SUF-7 pada tahun 2016 yang bernilai 51.013  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kemudian pada SUF-1 tahun 2014 rendah karena data yang direkam hanya sedikit mengingat stasiun ini rusak pada tahun 2013-2014. Selanjutnya stasiun sudah dibenarkan namun untuk parameter PM<sub>10</sub> pada tahun 2015, SUF-1 tidak dapat merekam sepanjang tahun, sehingga datanya kosong.

Menurut penelitian Wang, *et al* (2013) di Shanghai, Cina, konsentrasi PM<sub>10</sub> menjadi tinggi dikarenakan oleh aktivitas transportasi dan industri. Dengan membandingkan daerah pemukiman dan industri yang hasilnya konsentrasi di daerah dengan transportasi yang padat dan industri akan menyebabkan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan area pemukiman.

Penelitian yang dilakukan oleh Speak *et al* (2012) di Manchester- Inggris mengambil 3 lokasi yang berbeda yaitu area dengan tingkat transportasi tinggi (di gedung Manchester Technology area), area dengan tingkat transportasi sedang (jalan Oxford), dan

area dengan tingkat transportasi rendah (di Piccadilly Garden), penelitian dilakukan disaat yang bersamaan namun didapatkan hasil yang berbeda. Hal ini dikarenakan tiap lokasi mempunyai konsentrasi yang berbeda-beda.

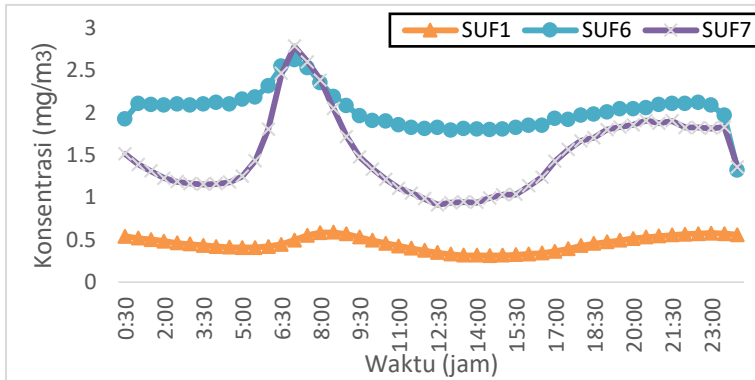
Senada dengan analisis yang diteliti untuk parameter  $PM_{10}$ . Penelitian ini dilakukan di tiga tempat berbeda dan menghasilkan rata-rata konsentrasi paling tinggi ke rendah yakni: SUF-7 (area transportasi tinggi, jalan tol Surabaya-Gempol), SUF-1 (Pusat Kota Surabaya) kemudian terakhir SUF-6 (Ruang Terbuka Hijau). Kemudian dari analisis deskriptif (Tabel 4.13) diketahui konsentrasi  $PM_{10}$  tertinggi ada pada SUF-6 Tahun 2016 yaitu  $687 \mu g/m^3$  yang kemudian dimasukkan pada Batas Indeks Standar Pencemar Udara ( $PM_{10}$ ) dalam satuan matriks dan dihitung dengan rumus yang telah ditetapkan ISPU.

#### **4.4 Pola Konsentrasi Harian (*Diurnal pattern*)**

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi pola harian atau *Diurnal pattern* dengan menggunakan statistika deskriptif. *Diurnal pattern* digunakan untuk mengetahui rata-rata setiap 30 menitnya dalam jangka waktu tertentu. Dengan mengetahui rata-ratanya maka dapat diketahui jam puncak atau *peaknya* dimana  $CO$ ,  $SO_2$ , dan  $PM_{10}$  dalam konsentrasi tinggi.

##### **4.4.1 *Diurnal pattern* CO di Surabaya**

Untuk parameter yang diteliti ( $CO$ ,  $SO_2$ , dan  $PM_{10}$ ) dilakukan analisis yang berbeda yaitu SUF-1 berdasarkan 5 tahun terakhir, sedangkan SUF-6 dan SUF-7 berdasarkan 3 tahun terakhir. Hal ini dikarenakan data sekunder yang diperoleh hanya menyajikan tahun-tahun tersebut (tahun mulai beroperasi 2013). Hasil dari rata-rata disetiap SUFnnya disajikan dalam grafik sebagai berikut:



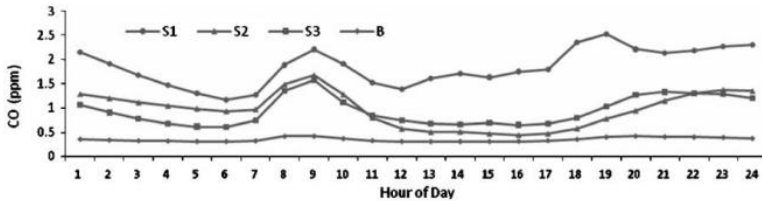
**Gambar 4.33 Grafik *Diurnal pattern* CO**

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi CO mulai naik pada pukul 05.00 dan mencapai titik tertinggi pada pukul 07.30. Hal ini dikarenakan masyarakat memulai aktivitas secara hamper bersamaan seperti perkantoran, perniagaan, sekolah dan pekerjaan administratif lain di Surabaya sehingga banyak kendaraan yang lalu-lalang dijalanan protokol. Kemudian konsentrasi CO mengalami penurunan pada pukul 11.00 dan terus bergerak turun sampai pada pukul 17.00 mengalami kenaikan kembali. Menurut analisis hal ini dikarenakan para pekerja dan banyak aktivitas berakhir pada pukul 17.00 atau jam pulang kerja. Setelah pukul 17.00 perubahan konsentrasi CO stabil dan tidak mengalami kenaikan atau penurunan yang signifikan.

Hasil ini berlaku di semua SUF yaitu SUF-1, SUF-6 dan SUF-7. Jika dilihat dari pergerakannya grafik ini menggambarkan bahwa naik turunnya CO terjadi di semua wilayah di Kota Surabaya adalah relatif sama. Selain itu, hasil dari *Diurnal pattern* ini sangat membantu membuktikan korelasi antara jam kerja dengan kenaikan dan penurunan konsentrasi CO. *Diurnal pattern* juga sesuai dengan kondisi eksisting dimana aktivitas dimulai dan berakhir.

Hal serupa juga terjadi di Klang Valley (Malaysia), *diurnal pattern* yang diperoleh pada pemantauan di 4 titik menunjukkan konsentrasi puncak (*peak*) pada sore hari pukul 17.00 dimana masyarakat kembali kerumah dari tempat kerjanya. Di sore hari menjelang malam *peak* juga dipengaruhi oleh kondisi meteorologi

yaitu kecepatan angin. Selain itu, partikulat-partikulat di atmosfer sedang dalam keadaan stabil (Azmi *et al*, 2015). Berikut adalah *diurnal pattern* di Klang Valley (Malaysia) pada tahun 2015.

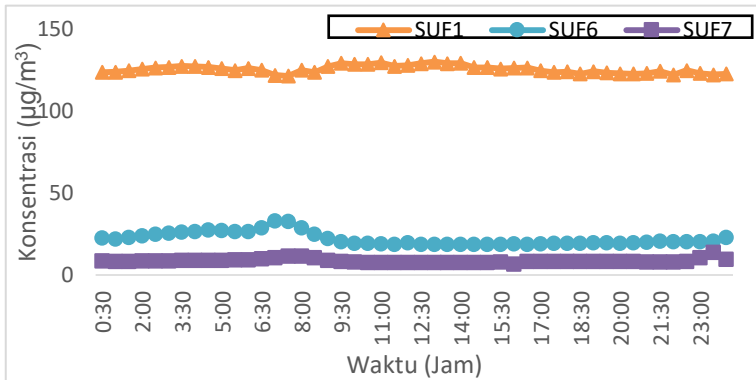


**Gambar 4.34 Diurnal pattern CO di Klang Valley, Malaysia**

Berdasarkan *diurnal pattern*, rata-rata konsentrasi yang diperoleh untuk parameter CO di SUF-1 pada tahun 2012-2016 adalah  $0.454 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , SUF 6 dan SUF 7 pada tahun 2014-2016 masing – masing adalah  $2.025 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $1.508 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Angka ini menandakan bahwa konsentrasi CO yang ada masih dalam batas aman karena tidak ada yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan.

#### 4.4.2 Diurnal pattern $\text{SO}_2$ di Surabaya

Parameter  $\text{SO}_2$  tidak mengalami perubahan yang signifikan pada setiap pergantian jamnya. Akan tetapi dapat dilihat dalam Gambar 4.3 bahwa  $\text{SO}_2$  di SUF 1 cenderung lebih besar dan melebihi rata-rata yang telah ditetapkan. Sama halnya seperti CO, di pusat kota juga menggambarkan tingginya polutan jika dibandingkan di SUF lainnya.  $\text{SO}_2$  tinggi di SUF-1 karena di SUF lainnya terdapat lebih banyak tumbuhan dibandingkan SUF-1. Karena letaknya, SUF-6 dan SUF-7 terletak di pinggiran kota, dimana lebih banyak terdapat ruang terbuka hijau dibandingkan dengan SUF-1 yang penuh dengan gedung-gedung pencakar langit dan banyak gedung administratif Kota Surabaya. *Diurnal pattern* untuk parameter  $\text{SO}_2$  dapat dilihat pada grafik dibawah ini.

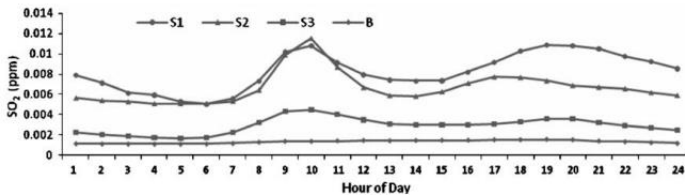


**Gambar 4. 35 Grafik *Diurnal pattern* SO<sub>2</sub>**

Jika dilihat dari polanya SO<sub>2</sub> pada SUF-6 dan SUF-7 mengalami jam puncak (*peak*) pada pukul 7.00. Hal ini kemungkinan dikarenakan adanya jam masuk kerja sehingga kenaikan sangat signifikan di sub-urban dalam rata-rata 3 tahun terakhir. Pada SUF-1 justru mengalami sedikit penurunan. Akan tetapi penurunan di SUF-1 tetap tinggi baru berada di kisaran angka 120 µg/m<sup>3</sup>. Ada beberapa data SO<sub>2</sub> yang melebihi baku mutu, akan tetapi jika dirata-ratakan dalam *diurnal pattern* setiap 30 menitnya termasuk dalam kategori aman (tidak melebihi baku mutu) yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur 10/2009 yaitu 262 µg/m<sup>3</sup>. SO<sub>2</sub> sendiri dihasilkan dari proses pembakaran yang bahan bakarnya mengandung sulfur, dimana kegiatan industri dapat mengeluarkan emisi SO<sub>2</sub> yang lebih besar jika dibandingkan dengan emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Untuk nilai deskriptif parameter SO<sub>2</sub> sudah dibahas pada sub-bab evaluasi.

Hal serupa juga terjadi di Klang Valley (Malaysia), dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Azmi *et al* (2015) terdapat satu stasiun yang konsisten sepanjang hari yaitu stasiun S1 yang terletak di Petaling Jaya. Stasiun Petaling Jaya (S1) memiliki kesamaan dengan stasiun Kebonsari (SUF-7), dimana S1 terletak di dekat daerah dengan tingkat transportasi tinggi (padat) sama dengan halnya SUF-7 yang terletak di dekat jalan tol Surabaya-Gempol.

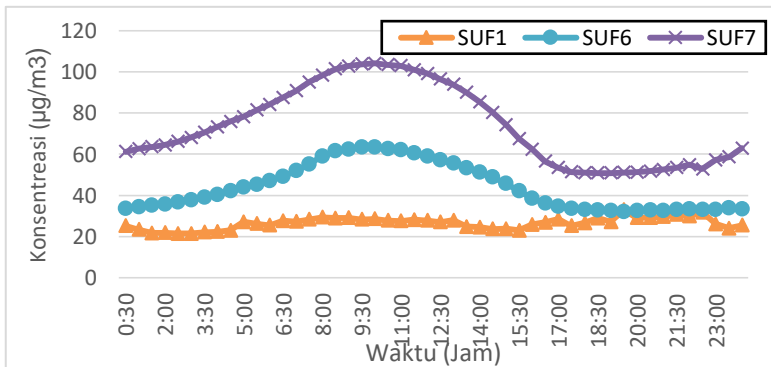
*Diurnal pattern* SO<sub>2</sub> di Klang Valley (Malaysia) dapat dilihat pada Gambar 4.36.



**Gambar 4. 36 *Diurnal pattern* SO<sub>2</sub> di Klang Valley, Malaysia**

#### 4.4.3 *Diurnal pattern* PM<sub>10</sub> di Surabaya

Dikarenakan PM<sub>10</sub> adalah parameter debu yang berasal dari berbagai sumber maka akan didapatkan akumulasi yang besar dan hampir semuanya melebihi baku mutu baik di pusat kota (SUF-1) maupun di urban area (SUF-6 dan SUF-7). PM<sub>10</sub> dapat terbang sejauh mungkin tergantung arah dan kecepatan angin sehingga dapat melewati perbatasan wilayah. Akan tetapi, SUF hanya akan menangkap polutan dengan radius 5 km saja. Sehingga pada grafik dibawah ini menjelaskan bahwa PM<sub>10</sub> melewati baku mutu disemua bagian Kota Surabaya hal ini dikarenakan polusi dan aktivitas masyarakat kota yang berlangsung secara bersamaan. Grafik *diurnal pattern* PM<sub>10</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.37.



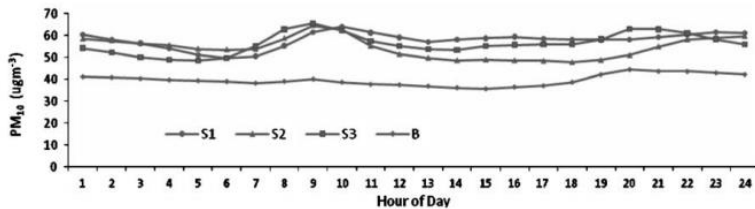
**Gambar 4. 37 Grafik *Diurnal pattern* PM<sub>10</sub>**



Kenaikan konsentrasi secara perlahan dimulai dari pukul 02.00 (dini hari) dan puncaknya pukul 09.30 kemudian mengalami penurunan berangsur-angsur hingga mencapai konsentrasi minimum pada pukul 18.00. *Diurnal pattern* untuk konsentrasi PM<sub>10</sub> paling tinggi ada pada SUF-7 lalu SUF-6 kemudian SUF-1 dengan kisaran nilai masing-masing 105 µg/m<sup>3</sup>, 64 µg/m<sup>3</sup>, dan 25 µg/m<sup>3</sup>. Gambar 4.37 menjelaskan bahwa PM<sub>10</sub> mengalami fluktuasi yang tidak terlalu beraturan, tetapi umumnya terjadi peningkatan konsentrasi pada pagi hari. Hal ini terjadi akibat suhu udara dan kecepatan angin yang masih rendah. Suhu udara rendah mengakibatkan partikel-partikel di udara cenderung mengendap ke permukaan.

Pada pembahasan *diurnal pattern* tidak sama tingginya dengan jumlah parameter yang melebihi baku mutu yang akan dievaluasi dikarenakan *diurnal pattern* fokus membahas rata-rata untuk mendapatkan jam puncak (*peak*). Bisa jadi pada *diurnal pattern* PM<sub>10</sub> di SUF-7 memiliki rata-rata angka paling tinggi namun jika dihitung menggunakan data secara keseluruhan (bukan rata-rata) sepanjang waktu penelitian justru SUF-7 memiliki angka tertinggi yaitu 179.38 µg/m<sup>3</sup> sehingga tidak pernah melampaui baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jatim 10/2009 yaitu sebesar 260 µg/m<sup>3</sup>. Dapat disimpulkan bahwa kualitas udara di Surabaya parameter PM<sub>10</sub> adalah aman.

Hal yang berbeda terjadi antara stasiun di Surabaya dan di Klang Vellay pada parameter PM<sub>10</sub>, hal ini dikarenakan dikarenakan tinggi rendahnya konsentrasi PM<sub>10</sub> di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh faktor *regional tropical* seperti pembakaran biomass dan radiasi sinar UV. PM<sub>10</sub> sangat dipengaruhi oleh sumber-sumber lokal seperti aktivitas pembangunan yang sedang dilakukan dan lalu lintas di suatu wilayah. Selain itu, tingginya konsentrasi PM<sub>10</sub> juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi (suhu dan kecepatan angin) yang dapat mempengaruhi konsentrasi PM<sub>10</sub> di atmosfer (Azmi *et al*, 2015). Berikut adalah grafik *diurnal pattern* PM<sub>10</sub> di Klang Valley (Malaysia).



**Gambar 4.38 Diurnal pattern PM<sub>10</sub> di Klang Valley, Malaysia**

## 4.5 Analisis Pengaruh Meteorologi dengan *Multilevel Model*

Setiap studi tentang pencemaran udara selalu berkaitan dengan pola cuaca harian lokal atau meteorologi. Bab ini akan menganalisis pengaruh faktor meteorologi terhadap perubahan konsentrasi parameter yang diukur dengan menggunakan data meteorologi yang sudah ada. Sehingga data tersebut dapat digunakan untuk beberapa hal misalnya mengidentifikasi jenis polutan dan memprediksi inversi dan konsentrasi dengan polutan tinggi.

*Multilevel Model* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam perhitungan pada penelitian ini. Metode ini digunakan untuk mengetahui keterkaitan antarvariabel, seperti besarnya konsentrasi akibat adanya faktor-faktor meteorologi seperti suhu dan radiasi, kelembaban, serta kecepatan dan arah angin. Tabel *Multilevel Model* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

**Tabel 4.14 Tabel *Multilevel Model***

Parameter	CO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
<b>Fixed Part</b>			
Intercept	1.244E+00 (2.04)	2.118E+02 (5.36)	5.453E+01 (3.14)
<b>Harian</b>			
<b>Basis( Minggu : 0)</b>			
Senin	1.230E-01 (0.98)	-2.148E+01 (-2.69)	3.498E+00 (0.44)
Selasa	1.299E-01 (1.03)	-2.192E+01 (-2.73)	5.298E+00 (0.66)
Rabu	1.127E-01 (0.90)	-2.051E+01 (-2.56)	6.381E+00 (0.79)
Kamis	1.093E-01 (0.87)	-1.907E+01 (-2.30)	4.995E+00 (0.62)
Jumat	1.005E-02 (0.80)	-1.907E+01 (-2.38)	4.915E+00 (0.61)
Sabtu	8.780E-02 (0.70)	-2.048E+01 (-2.55)	6.764E+00 (0.84)
Musim Kemarau :0; Penghujan :1	2.745E-01 (32.57)	-1.413E+01 (-28.62)	-5.142E+00 (-14.98)
<b>Meteorologi:</b>			
<b>Basis (dd8 : 0)</b>			
dd1	-1.872E-02 (-1.02)	4.020E+00 (3.43)	2.785E+00 (3..27)
dd2	-8.364E-02 (-4.47)	-7.930E+00 (-7.36)	-6.370E-01 (-1.30)
dd3	1.172E-01 (7.54)	-2.024E+01 (-21.63)	3.066E+00 (4.87)
dd4	1.322E-01 (6.79)	1.985E+01 (-16.74)	5.750E+00 (7.03)
dd5	1.877E-01 (9.05)	1.756E+01 (-14.45)	9.417E+00 (11.02)
dd6	1.404E-01 (8.05)	1.172E+01 (-10.94)	5.477E+00 (7.34)
dd7	4.228E-03 (0.27)	3.624E+00 (3.80)	3.093E+01 (4.34)
Ff	-3.694E-02 (-9.77)	6.891E-01 (5.36)	-5.442E+00 (-32.09)
Grad	1.203E-05 (0.46)	6.891E-02 (2.70)	5.701E-02 (57.86)
Hum	7.180E-03 (26.63)	-3.206E-01 (-22.98)	6.215E-03 (0.70)

**Lanjutan Tabel 4.14**

Temp	-1.789E-02 (-8.12)	-4.114E+00 (-35.35)	-2.807E-01 (-3.41)
CFD:1 ; Non- CFD:0	5.557E-02 (0.44)	-2.094E+01 (-2.62)	5.229E-01 (0.07)
Holidays:1 Non Holidays : 0	-2.850E-01 (-17.56)	2.21E+00 (2.29)	-9.203+00 (-13.80)

**Keterangan :**

*dd1 : Mewakili arah angin kuadran I yaitu 0°-45°;*

*dd2 : Mewakili arah angin kuadran II yaitu 45°-90°;*

*dd3 : Mewakili arah angin kuadran III yaitu 90°-135°;*

*dd4 : Mewakili arah angin kuadran IV yaitu 135°-180°;*

*dd5 : Mewakili arah angin kuadran V yaitu 180°-225°;*

*dd6 : Mewakili arah angin kuadran VI yaitu 225 °-270°;*

*dd7 : Mewakili arah angin kuadran VII yaitu 270°-315°;*

*dd8 : Mewakili kuadran VIII yang dijadikan basis pada penelitian ini;*

*ff : Mewakili kecepatan angin (wind velocity) dengan satuan m/s;*

*Grad : Mewakili radiasi matahari (global radiation) dengan satuan W/m²;*

*Hum : Mewakili kelembaban udara (humidity air) dengan satuan %;*

*Temp : Mewakili suhu udara (temperatur air) dengan satuan degrees C (°C);*

*CFD : Mewakili hari Bebas Kendaraan Bermotor (Minggu);*

*Holidays : Mewakili libur panjang sesuai dengan kalender Hijriah di Indonesia.*

Dengan menggunakan software R, hasil di atas menunjukkan bahwa *Intercept* CO senilai 0.12, dimana *Fixed Part Intercept* ini mengartikan CO dalam keadaan tidak dipengaruhi faktor apapun baik hari, musim, *car free day* maupun meteorologi. Penelitian ini menggunakan hari Minggu sebagai basis, yang artinya hari Minggu dijadikan patokan untuk membandingkan dengan hari lain. Semua hari dapat digunakan untuk basis dan akan menunjukkan hasil yang relatif sama. Oleh karena itu penggunaan hari Minggu adalah berdasarkan *output* yang dikeluarkan R.

Dengan menggunakan hari Minggu sebagai basis maka dapat diketahui berdasarkan Tabel 4.14, bahwa hari Senin dan Selasa lebih besar 0.12 x daripada hari Minggu, hari Rahu 0.11 x lebih besar daripada hari Minggu, hari Kamis 0.10 x lebih besar daripada hari Minggu serta hari Jumat dan Sabtu sebesar 0.08 x dan 0.02 x lebih besar daripada hari Minggu. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa hari Minggu adalah paling kecil konsentrasi COnya. Untuk parameter CO tidak ada yang signifikan karena tidak ada yang melampaui  $+1.64/-1.64$  (standar tingkat signifikan minimal). Parameter SO<sub>2</sub> menunjukkan semua hari berpengaruh secara signifikan berturut-turut memiliki nilai rata-rata  $-2,xx$ . Hasil dari R dapat dilihat pada Lampiran V.

#### • Pengaruh Musim Kemarau dan Musim Penghujan

Pada musim Penghujan konsentrasi CO 0.27 x lebih besar daripada musim Kemarau dan berpengaruh secara signifikan yang menunjukkan angka 32.57. Hal ini kemungkinan dikarenakan jika terjadi hujan perilaku pengendara kendaraan bermotor secara tiba-tiba menambah kecepatan berkendaranya sehingga menimbulkan konsentrasi CO di udara semakin meningkat sekitar 0.27 x lebih tinggi daripada saat keadaan tidak hujan.

Parameter SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> pada musim penghujan berturut-turut adalah 1.4 x dan 5.14 x lebih kecil dibandingkan dengan musim kemarau dan berpengaruh secara signifikan. Fenomena SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> lebih rendah di musim penghujan sesuai penelitian yang dilakukan oleh Vaio,P (2016) yang menyatakan bahwa di semua musim polutan PM<sub>10</sub> selalu lebih tinggi, namun pada musim panas PM<sub>10</sub> mengalami nilai paling tinggi dibandingkan yang lain terutama pada pusat kota dibandingkan dengan sub-urban.

Penelitian yang dilakukan oleh Habeebullah *et al* (2015) menyatakan bahwa pengaruh Musim Penghujan (*rainfall*) sangatlah signifikan untuk menentukan korelasi antara musim dan konsentrasi parameter ditempat tertentu. Daerah dengan curah hujan sangat rendah seperti Mekkah akan menunjukkan kemungkinan korelasi yang lemah (tidak signifikan). Sedangkan di Indonesia memiliki curah hujan cukup tinggi sehingga semua parameter berpengaruh signifikan.

Azmi *et al* (2010) memaparkan bahwa adanya keterkaitan antara suhu yang tinggi dengan hujan yang terjadi, dimana fenomena ini dapat mengurangi polutan di udara karena adanya proses *atmospheric aerosols* (bercampurnya polutan) dengan air (*wash-out*) di atmosfer.

- **Arah dan Kecepatan Angin**

Arah dan kecepatan angin merupakan faktor penting dalam memprediksi adanya potensi pencemaran udara disuatu wilayah atau area baik lokal, regional maupun global. Pada prinsipnya mengetahui arah angin berkaitan dengan pencemaran atau tidak ada 2 hal antara lain:

1. Sumber pencemar harus dalam konsentrasi tinggi dan terletak didekat sektor industri atau dipusat kota.
2. Faktor ini tidak berlaku ada area yang menimbulkan pencemaran yang rendah (Shenfeld, 1970).

Sebagai analogi area yang memiliki sumber polusi seperti pusat industri diprediksikan akan mencemari lingkungan disekitarnya saja, namun kenyataannya tidak demikian. Polusi akan menyebar akan menyebar secara kontinyu sesuai arah dan kecepatan angin. Kecepatan angin pada daerah perkotaan akan mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada bangunan-bangunan yang ada di perkotaan. Malam hari adalah waktu dimana polusi terjadi peningkatan hingga titik maksimal, hal ini dikarenakan adanya kecepatan angin yang bergerak secara vertikal dan akan bercampur ketika atmosfer dalam keadaan level terendah.

- **Arah Angin**

Pada parameter CO arah angin dari kuadran dd2-dd6 (45°-270°) berpengaruh secara signifikan dan dd5 mempunyai nilai paling tinggi diantara yang lain yaitu 0.18 x lebih besar dibandingkan dd8. Hal ini menunjukkan pada semua SUF bahwa arah angin secara signifikan berturut-turut berasal dari arah Barat Daya, Barat, Tenggara, Selatan, Timur dan Timur Laut. Faktor kecepatan angin (ff) menunjukkan semakin cepat angin semakin menurunkan CO dan berpengaruh secara signifikan (-9.77). Untuk parameter SO<sub>2</sub> semua arah angin berpengaruh secara signifikan dan untuk parameter PM<sub>10</sub> semua arah angin juga berpengaruh signifikan kecuali dd2 (45°-90°).

- **Kecepatan Angin**

Menurut Geiger *et al* (1995), kecepatan angin akan mempengaruhi transport partikulat di udara. Pengaruh kecepatan angin terhadap CO dan PM<sub>10</sub> yang berkorelasi negatif signifikan

berturut-turut -9.77 dan -32.09 yang mengartikan bahwa setiap peningkatan kecepatan angin diikuti dengan penurunan konsentrasi CO dan PM<sub>10</sub>. Hal ini sesuai dengan teori pengenceran, bahwa semakin tinggi kecepatan angin, maka akan terjadi pencampuran yang baik di atmosfer. Sehingga memungkinkan terjadinya penurunan konsentrasi polutan, termasuk CO.

Hal yang berlawanan terjadi pada parameter SO<sub>2</sub> dimana korelasi bernilai positif dan signifikan (5.36) hal ini mengartikan bahwa setiap peningkatan kecepatan angin diikuti kenaikan konsentrasi SO<sub>2</sub>. Hal kemungkinan dikarenakan adanya proses pembakaran bahan baku sulfur terjadi terus menerus secara kontinyu sehingga dengan adanya kecepatan angin yang tinggi akan mempengaruhi naiknya konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara.

- **Radiasi**

Faktor radiasi (*Grad/Global radioation*) menunjukkan yang sangat lemah yaitu 0.46 (paling lemah dari semua faktor) yang berarti faktor ini sangat kecil (lemah) dan tidak signifikan (rendah). Keterkaitan antara konsentrasi CO dengan radiasi di stasiun monitoring kualitas udara Surabaya (SUF-1, SUF-6 dan SUF-7) menunjukkan angka yang berlawanan. Konsentrasi CO yang tinggi terjadi pada saat radiasi rendah. Nilai yang rendah menunjukkan bahwa pada setiap peningkatan radiasi terjadi penurunan konsentrasi CO namun tidak berlaku sebaliknya, artinya tidak selalu setiap penurunan konsentrasi CO bersamaan dengan penurunan jumlah radiasi. Hal ini disebabkan faktor utama yang menentukan konsentrasi CO di atmosfer adalah jumlah emisi dari sumber.

Sementara itu, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> adanya faktor radiasi menunjukkan angka korelasi yang signifikan 2.70 dan 57.86 yang artinya jika terjadi radiasi akan menaikkan SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub>. Semakin siang, radiasi meningkat yang mengakibatkan kondisi atmosfer menjadi relatif tidak stabil sehingga memungkinkan partikel terbawa berpindah atau terangkat ke atas.

- **Temperatur**

Pengaruh suhu udara terhadap semua parameter (CO, SO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub>) yang berkorelasi negatif berturut-turut -8.12, -35.35 dan

-3.41, dimana angka ini mengartikan bahwa setiap peningkatan suhu udara diikuti dengan penurunan konsentrasi CO. Faktor suhu (*air temperature*) menunjukkan angka negatif yang mengartikan semakin tinggi suhu akan menurunkan konsentrasi CO secara signifikan. Habeebullah (2015) menyatakan bahwa tingginya konsentrasi berkaitan dengan adanya suhu yang tinggi dan kelembaban yang rendah.

Azmi *et al* (2010) memaparkan bahwa adanya korelasi signifikan antara konsentrasi PM<sub>10</sub> dan faktor meteorologi (suhu). Suhu yang tinggi pada udara mampu menaikkan jumlah pembakaran biomassa (*biomass burning*) dan menguapkan material didalamnya (termasuk debu dari permukaan tanah sehingga mengakibatkan meningkatnya polutan PM<sub>10</sub> di udara. Selain itu juga adanya korelasi yang tidak signifikan antara kelembaban dengan PM<sub>10</sub> di udara ambien.

- **Kelembaban**

Berbeda dengan faktor meteorologi sebelumnya, kelembaban udara menunjukkan korelasi positif (26.63) terhadap konsentrasi CO dimana penurunan kelembaban diikuti penurunan konsentrasi CO dan sebaliknya. Menurut Santikayasa dan Turyanti (2006), Kelembaban yang tinggi disebabkan oleh kandungan uap air yang tinggi di atmosfer menyebabkan proses dispersi polutan terhambat.

Korelasi positif namun tidak signifikan (0.70) terjadi antara kelembaban udara dan konsentrasi PM<sub>10</sub>. Menurut Santikayasa dan Turyanti (2006), menyatakan bahwa setelah terjadi kelembaban maksimum (80-100%), yang kemungkinan terjadi hujan, terjadi penurunan kelembaban yang diikuti oleh penurunan konsentrasi partikulat, ini menunjukkan juga pengaruh proses pencucian oleh air hujan.

Khusus untuk parameter SO<sub>2</sub>, terdapat teori yang bertolak belakang, jika pada umumnya penurunan kelembaban selalu berbanding lurus dengan penurunan konsentrasi polutan akibat tercuci oleh hujan. Namun pada parameter SO<sub>2</sub> dimana angka bernilai negatif signifikan (-22.98) yang mengartikan bahwa setiap peningkatan kelembaban udara diikuti dengan penurunan konsentrasi SO<sub>2</sub>. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Santikayasa dan Turyanti (2006) memaparkan kemungkinan yang



terjadi pada saat kelembaban rendah dan emisi  $\text{SO}_2$  berlangsung terus menerus di permukaan, akan terjadi peningkatan konsentrasi  $\text{SO}_2$  di udara ambien. Fenomena adanya peningkatan konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang tajam terjadi pada saat periode waktu tertentu.

Uap air juga berpengaruh pada reaksi termal dan fotokimia di atmosfer. Sebagai molekul air yang kecil dan sangat polar maka dapat mengikat kuat ke banyak zat. Jika melekat pada partikel di udara maka secara signifikan dapat meningkatkan jumlah cahaya yang tersebar oleh partikel (visibilitas). Jika molekul air mengikat gas yang bersifat korosif, seperti sulfur dioksida, gas akan larut dalam air dan membentuk larutan asam yang dapat merusak kesehatan dan properti. Persentase uap air di atmosfer sangat bervariasi, tergantung pada letak geografis. Kelembaban relatif umumnya lebih tinggi selama musim panas karena ketika suhu udara mencapai titik tertinggi.

#### • **Car free day**

Adanya program *car free day* berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi CO di Surabaya namun tidak signifikan. Pada *Multilevel Model* adanya *car free day* tidak berpengaruh besar, yaitu 0.44. Hal ini membuktikan adanya *car free day* tidakengaruhi kualitas udara di Surabaya. Penelitian yang dilakukan oleh Maisol *et al* (2014), memaparkan bahwa program *car free day* untuk menurunkan polusi udara di Italy hanyalah mengalihkan arus kendaraan daripada mengurangi polusi itu sendiri.

Sebelumnya penulis sudah melakukan sampling di 3 lokasi titik *car free day* menurut SNI 19-7119.9-2005 pada tanggal 19 Februari 2017. 3 Titik tersebut adalah:

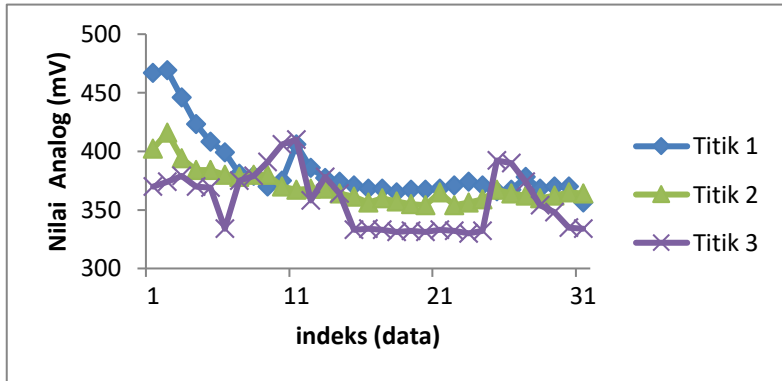
Titik 1 : Didepan Pizza Hut (Zona *traffic light*)

Titik 2 : Di depan Telkomsel Loop (Zona *traffic light*)

Titik 3 : Di depan Pediasure (Zona perumahan)

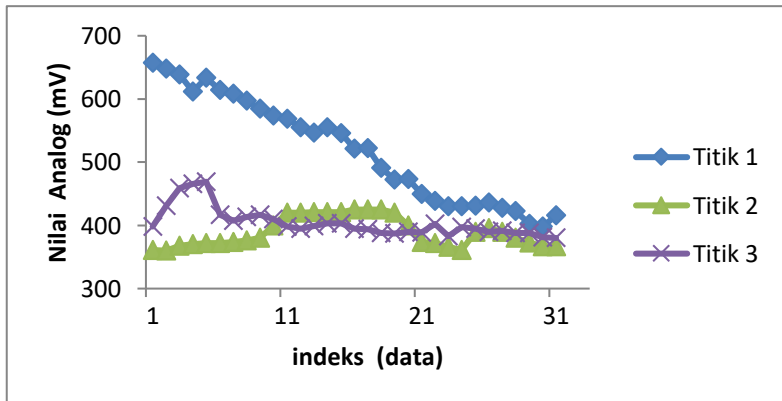
Dalam proses sampling sangatlah tidak didukung oleh adanya listrik. Dikarenakan keterbatasan listrik maka penulis melakukan sampling di dekat stand atau rumah yang memiliki sambungan listrik dan diijinkan untuk memparalel. Sampling dilakukan secara berpindah-pindah. Meskipun banyak kekurangan, sampling ini bertujuan untuk membandingkan kualitas udara di zona *traffic light* dan zona perumahan. Berikut adalah

grafik hasil sampling yang menggunakan alat kualitas udara berbasis *microcontroller* dan menghasilkan satuan millivolt (mV).



Keterangan: Indeks diambil pukul 6.30 WIB dan proses pengambilan secara kontinyu setiap 1 menit.

**Gambar 4.39 Grafik hasil sampling di 3 titik saat *car free day***



Keterangan: Indeks diambil pukul 6.30 WIB dan proses pengambilan secara kontinyu setiap 1 menit.

**Gambar 4. 40 Grafik hasil sampling di 3 titik saat *Non-car free day***

Dikarenakan hasil kalibrasi yang rendah maka penulis tidak mengkalibrasi hasil yang didapatkan pada sampling di *car free day*, namun jika melihat polanya pada titik 1 CO nya sangat tinggi kemudian semakin lama semakin menurun. Lokasi dengan CO tinggi ke rendah berturut-turut adalah di titik 1, titik 2 dan titik 3.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ali, M dan Indria (2015) memaparkan bahwa hasil sampling menggunakan perhitungan emisi CO yang keluar dari kendaraan bermotor yang melewati di 3 titik *car free day* di Jalan Jemur Andayani tidak ditemukan adanya polusi. Kemudian sampling dilakukan kembali di titik yang sama pada hari aktif dan didapatkan adanya emisi CO yang didapatkan dari hasil perhitungan jumlah kendaraan bermotor yang melintas di jalan tersebut. Hal ini membuktikan bahwa adanya *car free day* hanya berpengaruh pada perbaikan udara di area *car free day* dan kurang berpengaruh terhadap rata-rata konsentrasi udara di Surabaya secara keseluruhan.

- **Libur panjang**

Pada Tabel 4.14 menunjukkan angka korelasi signifikan yang artinya adanya libur panjang mampu menurunkan konsentrasi CO dan PM<sub>10</sub> secara signifikan yang artinya semakin banyak libur panjang semakin menurunkan konsentrasi CO. Namun berbanding terbalik dengan SO<sub>2</sub> meningkat dengan adanya liburan panjang dapat meningkatkan SO<sub>2</sub>. Hal ini kemungkinan dikarenakan perubahan sumber polutan (pembakaran industri dan kendaraan bermotor) yang tetap melakukan kegiatan industri di dalam pabrik menggunakan mesin otomatis ketika pekerjaanya liburan. Daftar hari libur panjang di Indonesia tahun 2012-2016 terdapat pada Lampiran IV.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

1. Kalibrasi yang dilakukan, menunjukkan sensor MQ-7 yang digunakan dalam alat pemantau ini, yang berfungsi untuk mendeteksi CO tidak cocok untuk mengukur udara ambien.
2. Kualitas udara yang melebihi baku mutu adalah  $\text{SO}_2$  di SUF-1 tahun 2012 dan  $\text{PM}_{10}$  di semua SUF dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh Pergub Jatim 10/2009.
3. *Diurnal pattern* diperkirakan sama dengan kondisi eksisting dimana CO mengalami kenaikan tertinggi pada pukul 07.30 kemudian turun pada pukul 11.00 dan mengalami kenaikan lagi pada pukul 17.00. Hal ini sesuai dengan jam masuk dan pulang kerja di Surabaya. Sementara itu, pola konsentrasi  $\text{SO}_2$  tidak mengalami perubahan signifikan pada setiap SUF. Konsentrasi tertinggi untuk parameter  $\text{PM}_{10}$  ada pada SUF-7 yang disebabkan oleh sumber tidak bergerak mengingat posisi pemantau dekat dengan jalan tol Surabaya-Gempol.
4. Hasil analisis menunjukkan suhu berkorelasi negatif signifikan terhadap semua parameter dan radiasi berkorelasi positif signifikan pada CO dan  $\text{SO}_2$  namun tidak pada  $\text{PM}_{10}$ . Sedangkan kelembaban dan kecepatan angin selalu berkorelasi terbalik pada parameter  $\text{SO}_2$ . Kemudian *Car free day* diperkirakan tidak mampu memperbaiki kualitas udara rata-rata ambien di Surabaya. Namun adanya libur panjang dapat menurunkan konsentrasi udara ambien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, H. 2008. Pemograman Microcontroller AVR ATMEGA32 Menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR). Bandung. Penerbit Informatika
- Ali, M dan Indria. 2015. Pengaruh program *car free day* terhadap penurunan beban pencemar CO dan NO<sub>2</sub>. Surabaya. Universitas Pembangunan “Veteran”
- Azhari, K. 2014. Perencanaan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan dengan Komunikasi TCP/IP Berbasis *Microcontroller* ATMEGA16. Bandung : LPKIA
- Azmi, Z., Latif, T., Ismail, S., Juneng, L., Jemain, A. 2010. Trend and status of air quality at three different monitoring stations in the Klang Valley, Malaysia. Malaysia : School of Environmental and Natural Resource Sciences, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia
- Azwar, T., dan Kholiq, A., 2013. “Anemometer Digital Berbasis *Microcontroller* Atmega-16”. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia 2, 3:41-45
- Badan Pusat Statistik. 2012. Buku Informasi Statistik Pekerjaan Umum. Jakarta : PUSDATA
- Badan Pusat Statistik. 2015. Surabaya Dalam Angka. Surabaya : CV. Sari Murni Printed
- Bardeschi A., Colluci A., Gianelle, V., Gnagnetti, M., Tamponi, M., Tebaldi, G. 1991. Analysis of the impact on air quality of motor vehicle traffic in the Milan urban area. *Atmospheric Environment*, Vol. 25B No. 3, hal. 415 – 428.
- Cahyono, W. 2011. Kajian Tingkat Pencemaran Sulfur dioksida Dari Industri di Beberapa Daerah di Indonesia. Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN : Berita Dirgantara Vol. 12 No.14
- Chamim dan Anna N. 2010. “Penggunaan *Microcontroller* Sebagai Pendeteksi Posisi dengan Menggunakan Sinyal GSM”. Jurnal Informatika 4, 1.
- Chandra, B. 2006. Pengantar Kesehatan Lingkungan. EGC. Jakarta

- Dinas Lingkungan Hidup. 2016. Laporan Harian Kualitas Udara untuk Parameter (*Daily Air Quality Report for Parameters*). Data Center Surabaya: Surabaya
- Environmental Protection Agency (EPA), 2013. Particulate Matter, Basic Information, <http://www.epa.gov/pm/basic.html>. 20 April 2017
- F. Popescu, I. Ionel, N. Lontis, L. Callin, I.L Dungan. 2009. Air Quality Monitoring in an Urban Agglomeration. Timisoara : University "Politehnica"
- Fardiaz, Srikandi .1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta
- Geiger, R., Aron, R.H., Todhunter, P. 1995. The Climate Near the Ground, Friedr.Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 39-50, 97-117, 353-371.
- Gummeni, S., Y. Yusup, M. Chavali, S.Z. Samadi. 2001. Source Apportionment of Particulate Matter in The Ambient of Hyderabad city India, Atmosphere Research 101
- Habeebullah, M., Munir, S., Hameed., A., Morsy, A., Seroji, R and Mohammed., A. 2015. The Interaction between Air Quality and Meteorological Factors in an Arid Environment of Makkah, Saudi Arabia. Mekkah. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 6, No. 8
- Jang, E., Do, W., park, G., Kim, M., Yoo., E. 2016. Spatial and temporal variation of urban air pollutants and their concentrations in relation to meteorological conditions at four sites in Busan, South Korea. Korea : Atmospheric Pollution Research
- Janssen, N. 2011. Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> .Environmental Health Perspectives [online] Vol. 119 No. 12 [diakses 8 Januari 2016] <http://ehp.niehs.nih.gov/wpcontent/uploads/119/12/ehp.1003369.pdf>
- Jun. Y., Joe, M., Jinxing Z., Zhengyuan S. 2005. The Urban Forest in Beijing and Its Role in Air Pollution Reduction, Urban Forestry & Urban Greening
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2011. Laporan Pemantauan Kualitas Udara Ambien Kontinyu (AQMS)

- Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2003 .  
POLLUTION STANDARD INDEX (PSI) Air Quality Report  
Main Air Quality Center BAPEDAL. <http://www.menlh.go.id>  
(diakses pada tanggal 25 Januari 2017)
- Kementrian Pekerjaan Umum. 2013. Buku Informasi Statistik  
Pekerjaan Umum 2013. Jakarta : Sekretariat Jenderal Pusat  
Pengolahan Data (PUSDATA)
- Keputusan Kepala Bapedal No. 107 tahun 1997 Tentang: Perhitungan  
Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar  
Udara
- Keputusan Menteri Kesehatan republik Indonesia Nomor  
424/MENKES/SK/IV/2003 Tentang Penetapan Severe  
Acute Respiratory Syndrome (SARS) Sebagai Penyakit  
yang dapat Menimbulkan Wabah dan Pedoman  
Penanggulangannya. 2003. Jakarta
- Kristanto, P. 2002. Ekologi Industri. Yogyakarta : Andi Offset
- Kusminingrum, N dan Gunawan, G. 2008. Polusi Udara Akibat  
aktivitas kendaraan Bermotor di jalan Perkotaan Pulau Jawa  
dan Bali. Bandung : Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
- Maisol, M., Agostinelli, C., Formenton., Tarabotti, E., Pavoni, B. 2014.  
Thirteen years of air pollution hourly monitoring in a large  
city: Potential sources, trends, cycles and effects of car-free  
days. Science of the Total Environment 494–495 (2014) 84–  
96.
- Mohamad, N., Ash'aari, Z ., dan Othman, M. 2015 . Preliminary  
assessment of air pollutant sources identification at selected  
monitoring stations in Klang Valley, Malaysia. Malaysia.  
Procedia Environmental Sciences 30 ( 2015 ) 121 – 126.
- Muzayanah. 2016. Model Ruang Terbuka Hijau Untuk reduksi PM10  
(Particulate Matter 10) udara Ambien. Malang : Universitas  
Brawijaya
- Peraturan Gubernur DIY Nomor 8 Tahun 2010 tentang program Langit  
Biru tahun 2009-2013
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 tahun 2009 tentang Baku  
Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak bergerak di  
Jawa Timur
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010  
Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di  
Daerah

- Peraturan Pemerintah RI nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- Pujiastuti, P., Soemirat, J., Dirgawati, M. 2013. Karakteristik Anorganik PM<sub>10</sub> di Udara Ambien Terhadap Mortalitas dan Morbiditas Pada Kawasan Industri di kota Bandung. Jurnal Institut Teknologi Nasional.  
<http://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/lingkungan/article/download/138/143> No. 1 Vol. 1 [diakses 8 Januari 2016]
- Saepudin, A. dan Admono, T. 2005. Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta, Jurnal Teknologi Indonesia 28 (2) 2005, 29-39, LIPI Press.
- Santikayasa, P dan Turyanti, A. 2006. Analisis Pola Unsur Meteorologi dan Konsentrasi Polutan di Udara Ambien Studi Kasus : Jakarta dan Bandung. Bandung : J. Agromet Indonesia 20 (2) : 25 – 37
- Shenfeld, J. 1970. Meteorological Aspects of Air Pollution Control. Toronto: Department of Energy and Resources Management
- SNI 19-7119.9.2005. Udara Ambien – Bagian 9 tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Contoh Uji Pemantauan Kualitas Udara Roadside
- Speak, A.F., J.J Rothwell, S.J. Lindley, C.L. Smith. 2012. Urban Particulate Pollution Reduction by Four Species of Green Roof Vegetation in a UK City, Atmosphere Environment 61
- Sugiarti. 2009. Air Pollutan Gasses and The Influence of Human Healt. Makassar : UNM Makassar
- Surabaya Dalam Angka (Surabaya in Figures). 2015. Surabaya: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya (BPS-Statistics of Surabaya City). No Katalog 1102001.3578
- Syafei, A., D. 2014. Analyzing and Interpreting Air Quality Monitoring Data in Surabaya. Jepang : Hiroshima University
- Tan, P, H., Chou, C., Liang, J., Chou, C., Shiu, C. H. 2009. Air pollution “holiday effect” resulting from the Chinese New Year. Atmospheric Environment 43 (2009) 2114–2124
- USEPA U.S. Environmental Protection Agency. 2003. *Region 5 network assessment*. Presented at the Air Monitoring & Quality Assurance Workshop, Atlanta, CA, September 9-11 by the U.S. Environmental Protection Agency, Region 5. [terhubung berkala] Optimasi Penentuan Lokasi Stasiun



Pemantau Forum Statistika dan Komputasi Kualitas Udara  
Ambien di Kota Surabaya

[http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/workshop/  
atlanta/r5netas.pdf](http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/workshop/atlanta/r5netas.pdf)

- Vaio, P . 2016. Chemical Composition of PM<sub>10</sub> at Urban Sites in Naples (Italy). Italy : Atmosphere
- Wang, J., Zimei H., Yuanyuan C., Zhenlou C., Shiyuan X. 2013. Contamination Characteristics and Possible Sources of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Different Functional Areas of Shanghai, China, Atmospheric Environment 68
- World Health Organization. 2000. Air Quality Guidelines for Europe. Netherlands : WHO Regional Publications European Series No. 91
- Woeryanto. 2003. Evaluasi Program Monitoring Kualitas udara Dalam Upaya Kontrol Pencemaran Udara di Kota Semarang. Semarang : Universitas Diponegoro
- Zhongan, Slanina, Spaargaren and Yuanhang, 2005, Traffic and Urban Air Pollution, the Case of Xi'an City, P.R.China.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LAMPIRAN-LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1

#### DATA PRIMER DAN SEKUNDER PERBANDINGAN ALAT DENGAN SUF-1

Waktu	Output	Waktu	Output	Waktu	Output
9:00	337	20:00	305	7.30	371
9:30	305	20:30	309	8.00	369
10:00	304	21:00	311	8:30	357
10:30	299	21:30	310	9:00	357
11:00	306	22:00	310		
11:30	302	22:30	312	10:00	354
12:00	297	23:00	320	10:30	351
12:30	295	23:30	311	11:00	364
13:00	297	0:00	310	11:30	346
13:30	300	0:30	319	12:00	354
14:00	298	1:30	347	12:30	347
14:30	306	2:00	326	13:00	348
15:00	313	2:30	324	13:30	347
15:30	312	3:00	323	14:00	366
16:00	326	3:30	327	14:30	351
16:30	309	4:00	332	15:00	352
17:00	320	4:30	326	15:30	345
17:30	310	5:00	329	16:00	349
18:00	303	5:30	340	16:30	346
18:30	305	6:00	345	17:00	335
19:00	310	6:30	349	17:30	334
19:30	309	7:00	362	18:00	332

19:00	323
19:30	329
20:00	330
21:30	336
22:00	336
22:30	336
23:00	334
23:30	333
0:00	334







## LAMPIRAN 2

### CONTOH DATA KONSENTRASI YANG MELEBIHI BAKU MUTU

**Tabel CO melebihi baku mutu di SUF-7**

Date	Month	Year	CO	dd	ff	grad	hum	temp
31	10	2012	28.88	217.91	0.99		82.17	25.88

**Tabel SO<sub>2</sub> melebihi baku mutu**

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
1	1	2012	282.5	312.02	1.81	0.00	100.00	24.49
1	1	2012	267.13	323.37	0.24	0.00	100.00	24.43
1	1	2012	264.05	293.66	1.51	25.11	100.00	24.73
1	1	2012	262.26	320.20	0.67	3.67	100.00	24.72
2	1	2012	269.97	277.97	0.65	0.14	100.00	24.64
3	1	2012	291.58	77.95	0.15	2.06	100.00	25.42
3	1	2012	282.17	297.11	0.73	2.87	100.00	25.98



Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
3	1	2012	280.95	43.77	0.09	2.86	100.00	25.62
3	1	2012	278.86	18.33	0.16	2.83	100.00	25.76
3	1	2012	274.62	92.63	0.05	0.50	100.00	25.24
3	1	2012	271.32	131.86	0.03	1.13	100.00	25.28
3	1	2012	269.93	35.98	0.78	0.25	100.00	24.78
4	1	2012	268.2	293.70	2.15	2.91	100.00	25.53
4	1	2012	267.7	292.81	2.05	17.45	100.00	25.40
4	1	2012	267.07	270.99	1.45	3.00	100.00	25.54
4	1	2012	263.77	280.76	1.10	5.59	100.00	25.19
4	1	2012	263.33	290.79	0.58	2.82	100.00	25.05
4	1	2012	262.33	292.10	2.67	2.76	100.00	25.64
5	1	2012	291.56	316.85	0.31	0.76	100.00	24.93
5	1	2012	283.48	296.62	1.02	0.62	100.00	24.89
5	1	2012	282.3	49.74	0.05	1.36	100.00	25.02
5	1	2012	278.77	295.53	2.41	76.00	100.00	25.50
5	1	2012	275.12	295.10	2.29	49.97	100.00	24.93
5	1	2012	273.22	246.54	0.86	6.79	100.00	24.87

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
5	1	2012	272.79	267.69	1.87	101.23	97.89	25.95
5	1	2012	270.08	336.68	0.25	1.19	100.00	25.23
5	1	2012	269.4	277.98	1.83	221.13	92.82	26.60
5	1	2012	267.81	300.34	1.72	0.57	100.00	24.89
5	1	2012	266.82	290.58	2.34	0.60	100.00	24.78
5	1	2012	265.86	279.40	0.66	0.74	100.00	24.93
5	1	2012	264.73	297.27	2.61	0.55	100.00	25.06
5	1	2012	264.25	294.06	2.48	0.40	100.00	24.84
5	1	2012	264.1	298.62	2.66	0.61	100.00	25.05
5	1	2012	263.72	332.10	2.23	380.02	75.47	29.02
5	1	2012	263.22	281.69	2.18	324.45	85.28	27.49
15	1	2012	265.23	282.18	0.76	0.02	100.00	24.40
15	1	2012	263.75	96.91	1.06	274.45	89.94	27.47
15	1	2012	263.29	266.78	0.19	0.04	100.00	24.34
16	1	2012	271.85	214.20	0.44	0.76	100.00	25.45
16	1	2012	269.1	208.62	0.49	0.93	100.00	25.34

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
16	1	2012	268.81	3.87	0.09	1.07	94.89	26.46
16	1	2012	267.87	139.90	0.19	1.36	93.69	26.48
16	1	2012	266.34	306.39	0.71	0.55	99.00	26.03
16	1	2012	265.94	359.08	0.52	3.05	79.76	28.07
16	1	2012	265.36	235.93	1.46	1.32	89.77	26.91
16	1	2012	265.36	356.02	1.49	93.31	70.32	29.53
16	1	2012	264.99	279.95	1.45	1.33	88.91	27.17
16	1	2012	264.5	24.51	1.10	224.80	69.30	30.10
16	1	2012	264.41	5.77	0.49	1.22	84.97	27.63
16	1	2012	263.79	27.60	0.79	336.39	83.17	28.94
16	1	2012	263.48	351.03	1.18	37.35	71.46	29.24
16	1	2012	262.83	123.25	1.50	48.95	72.67	29.17
16	1	2012	262.44	248.63	0.98	35.28	89.35	26.56
16	1	2012	262.37	39.07	0.58	467.42	76.44	30.09
16	1	2012	262.35	120.34	0.97	139.21	99.78	25.63
17	1	2012	285.03	186.03	0.31	1.43	100.00	26.16
17	1	2012	282.59	0.00	0.00	1.30	100.00	26.02

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
17	1	2012	268.52	180.46	0.49	62.28	100.00	25.24
17	1	2012	268.42	153.51	1.38	127.94	100.00	25.83
17	1	2012	268.22	198.93	0.37	0.90	100.00	25.23
17	1	2012	267.35	117.16	1.80	204.49	93.18	27.32
17	1	2012	265.41	101.47	1.32	247.05	79.20	28.37
17	1	2012	263.38	124.86	1.11	284.77	75.58	29.16
17	1	2012	263.07	100.02	1.59	269.53	76.02	29.15
18	1	2012	334.1	238.68	0.38	0.00	100.00	25.04
18	1	2012	330.21	265.07	0.36	1.20	100.00	24.60
18	1	2012	329.68	296.09	0.62	0.00	100.00	24.82
18	1	2012	329.03	281.71	0.12	2.53	100.00	24.50
18	1	2012	328.96	259.97	0.22	1.99	100.00	24.62
18	1	2012	328.64	257.61	0.85	0.37	100.00	24.48
18	1	2012	326.17	263.86	1.04	2.95	100.00	24.59
18	1	2012	325.32	288.15	0.40	3.49	100.00	24.39
18	1	2012	322.57	277.21	0.37	3.31	100.00	24.25
18	1	2012	319.81	291.30	1.09	3.22	100.00	24.33
18	1	2012	319.66	297.97	1.03	2.88	100.00	24.66

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
18	1	2012	272.76	313.41	1.42	280.36	91.10	27.74
18	1	2012	271.24	306.57	2.30	543.73	67.76	29.81
18	1	2012	270.74	307.15	1.86	403.80	78.01	28.84
18	1	2012	270.24	352.91	2.86	416.61	57.65	31.37
18	1	2012	270.06	350.19	3.23	784.78	58.56	31.28
18	1	2012	269.69	308.05	2.28	578.67	60.38	30.47
18	1	2012	269.58	337.77	1.76	528.85	56.77	30.97
18	1	2012	269.41	329.35	3.81	814.22	58.13	31.44
18	1	2012	269.29	328.51	3.41	761.35	59.02	31.44
18	1	2012	269.23	301.09	2.70	474.22	62.62	30.28
18	1	2012	268.79	340.16	3.38	307.76	58.58	31.00
18	1	2012	268.48	352.67	3.39	595.99	58.73	31.25
18	1	2012	266.91	344.46	2.47	613.12	56.37	31.05
19	1	2012	319.4	291.46	1.72	1.26	100.00	24.73
19	1	2012	316.1	289.94	0.36	0.33	100.00	24.55
19	1	2012	315.73	313.80	0.28	1.29	100.00	24.56
19	1	2012	315.64	297.81	0.83	0.46	100.00	24.54

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
19	1	2012	314.64	301.21	0.01	0.38	100.00	24.56
19	1	2012	313.97	299.41	0.39	0.45	100.00	24.55
19	1	2012	312.61	301.15	0.17	0.41	100.00	24.60
19	1	2012	310.9	289.10	1.17	18.48	100.00	25.15
19	1	2012	309.09	266.19	0.69	44.68	100.00	25.52
19	1	2012	306.35	121.23	1.96	542.18	60.28	31.01
19	1	2012	305.19	295.15	1.71	85.07	100.00	25.61
19	1	2012	304.62	217.72	0.45	133.11	99.28	26.28
19	1	2012	302.39	130.02	0.63	185.48	93.01	27.13
19	1	2012	301.37	100.50	0.90	536.13	72.43	29.47
19	1	2012	301.3	116.61	0.56	255.13	84.41	28.13
19	1	2012	294.29	255.01	0.79	16.02	100.00	24.35
19	1	2012	293.99	243.52	2.38	13.34	100.00	24.28
19	1	2012	293.44	87.45	1.33	91.82	72.11	30.27
19	1	2012	293.42	246.27	3.91	12.47	72.12	28.00
19	1	2012	292.94	359.25	1.37	238.55	62.76	30.91
19	1	2012	292.61	243.45	1.20	17.19	100.00	24.16
19	1	2012	291.39	237.36	2.67	20.27	93.17	24.30

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
19	1	2012	290.3	33.36	0.79	240.51	66.77	30.47
19	1	2012	286.32	75.52	0.81	184.77	64.33	30.93
19	1	2012	279.41	348.60	0.63	165.66	65.66	30.29
19	1	2012	275.65	106.72	1.70	572.34	56.50	31.16
19	1	2012	267.65	121.74	1.62	587.03	50.64	32.66
5	3	2012	271.32	355.05	0.11	0.46	100.00	25.11
5	3	2012	271.17	213.08	0.03	0.43	100.00	25.17
5	3	2012	270.86	332.98	0.17	0.44	100.00	25.26
5	3	2012	270.8	0.00	0.00	0.56	100.00	25.24
5	3	2012	270.78	261.06	0.01	0.51	100.00	25.01
5	3	2012	270.38	355.55	0.14	0.45	100.00	25.17
5	3	2012	270.36	353.50	0.16	0.49	100.00	25.06
5	3	2012	268.92	0.00	0.00	1.37	100.00	25.31
5	3	2012	268.09	355.55	0.11	1.11	100.00	25.07
5	3	2012	268.05	355.55	0.00	1.17	100.00	25.23
5	3	2012	267.09	355.55	0.03	1.37	100.00	24.94
5	3	2012	267.02	348.36	0.68	38.08	100.00	24.81

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
5	3	2012	266.89	317.05	0.29	2.68	100.00	24.93
5	3	2012	266.37	355.54	0.12	1.36	100.00	24.82
5	3	2012	265.69	244.70	1.10	14.71	100.00	25.38
5	3	2012	264.71	292.86	2.86	42.40	100.00	25.09
5	3	2012	263.42	256.51	1.11	31.87	100.00	24.67
5	3	2012	263.27	229.09	0.65	29.05	100.00	25.47
5	3	2012	262.87	248.21	1.16	33.41	100.00	25.42
6	3	2012	276.43	231.41	0.69	0.00	100.00	24.01
6	3	2012	275.93	214.59	0.80	0.00	100.00	24.00
6	3	2012	274.79	143.12	0.47	0.00	100.00	23.90
6	3	2012	274.64	214.15	1.76	0.00	100.00	23.94
6	3	2012	274.62	204.31	1.42	0.00	100.00	23.73
6	3	2012	273.96	291.91	1.66	7.40	100.00	25.27
6	3	2012	273.51	298.10	1.55	0.08	100.00	25.12
6	3	2012	273.34	290.15	4.85	246.86	75.71	28.91
6	3	2012	273.31	293.56	1.22	0.02	100.00	25.08
6	3	2012	273.29	307.63	1.83	135.02	98.65	26.45
6	3	2012	273.09	295.03	3.80	0.11	100.00	25.16



Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
6	3	2012	272.79	294.42	0.20	0.12	100.00	24.89
6	3	2012	272.72	205.43	0.02	0.37	100.00	24.93
6	3	2012	272.7	278.32	0.62	75.35	100.00	25.83
6	3	2012	272.61	229.26	0.65	0.08	100.00	24.79
6	3	2012	272.39	252.61	1.31	30.87	100.00	25.48
6	3	2012	272.13	214.09	2.48	0.00	100.00	23.64
6	3	2012	272	289.49	1.52	0.07	100.00	24.94
6	3	2012	271.93	185.44	0.04	0.03	100.00	24.80
6	3	2012	271.74	291.45	4.15	260.62	83.98	28.09
6	3	2012	271.74	240.37	2.40	0.12	96.43	24.25
6	3	2012	271.65	289.79	1.08	0.66	100.00	25.13
6	3	2012	271.26	294.68	3.10	0.04	100.00	25.11
6	3	2012	271.06	243.87	2.89	0.31	88.82	24.83
6	3	2012	271	330.45	0.01	0.36	100.00	24.85
6	3	2012	271	302.08	3.22	208.10	91.73	27.19
6	3	2012	269.69	299.79	4.45	363.11	69.21	29.42
6	3	2012	269.1	12.06	0.49	0.56	80.01	28.25

**Tabel SO<sub>2</sub> yang melebihi baku mutu SUF-6**

Date	Month	Year	SO <sub>2</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
10	11	2014	572.73	200.08	0.80	0.00	0.19	26.91
10	11	2014	541.05	247.77	0.49	0.00	0.11	27.05

**Tabel PM<sub>10</sub> yang melebihi baku mutu SUF-1**

Date	Month	Year	PM <sub>10</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
14	9	2016	489.73	20.58	0.23	1.50	82.35	28.84
14	9	2016	432.8	8.51	0.33	1.42	78.01	28.87
14	9	2016	367.55	14.14	0.40	1.34	72.93	29.30
14	9	2016	351.32	26.71	0.50	1.40	75.99	28.98
14	9	2016	332.34	22.58	0.84	1.40	72.01	29.35
14	9	2016	294.37	40.03	0.92	1.44	74.68	29.31
14	9	2016	269.32	7.02	1.05	1.39	74.67	29.39
15	9	2016	410.71	84.64	0.15	30.54	97.39	26.69

Date	Month	Year	PM <sub>10</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
15	9	2016	394.31	0.00	0.00	15.78	95.35	26.17
15	9	2016	368.06	0.00	0.00	1.58	93.79	26.24
15	9	2016	360.75	177.73	0.22	1.13	94.05	26.47
15	9	2016	354.47	170.46	0.79	0.84	94.82	26.71
15	9	2016	351.48	0.00	0.00	6.47	94.34	26.11
15	9	2016	347.57	201.87	0.18	46.25	97.51	27.50
15	9	2016	286.77	166.51	0.28	0.92	94.48	26.75
15	9	2016	271.2	51.74	0.63	64.19	92.18	28.38
15	9	2016	269	53.52	1.11	42.31	50.86	32.99
15	9	2016	264.93	47.54	1.24	43.35	58.10	31.60
15	9	2016	261.99	47.57	0.93	16.35	66.17	30.92
16	9	2016	424	114.30	0.58	1.57	92.09	29.05
16	9	2016	364.83	79.13	0.43	1.54	91.16	29.17
16	9	2016	325.69	54.31	0.82	1.57	92.09	28.93
16	9	2016	305.66	96.18	0.54	1.52	89.01	29.32
16	9	2016	265.25	71.80	0.71	1.53	85.82	29.41
17	9	2016	547.96	44.79	0.27	1.45	83.66	27.39

Date	Month	Year	PM <sub>10</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
17	9	2016	398.72	67.01	0.54	1.43	81.76	27.44
17	9	2016	346.87	334.43	0.08	1.41	81.49	27.50
17	9	2016	338	23.00	0.39	1.95	80.40	27.68
17	9	2016	336.27	57.55	0.73	6.08	76.54	27.85
17	9	2016	335.13	53.71	0.39	5.97	100.00	26.61
17	9	2016	330.46	49.21	1.11	17.75	72.62	27.95
17	9	2016	328	81.88	0.60	14.95	74.11	27.89
17	9	2016	316	68.18	0.76	14.22	100.00	26.80
17	9	2016	310.46	21.64	0.45	0.94	100.00	27.09
17	9	2016	295.02	165.61	0.17	1.48	87.20	27.39
17	9	2016	284.3	165.61	0.18	1.46	87.36	27.43
17	9	2016	268.82	46.58	0.32	1.51	87.21	27.30
17	9	2016	268.69	177.76	1.12	1.50	87.44	27.41
17	9	2016	265.28	56.66	0.20	1.48	86.55	27.27
17	9	2016	264.17	62.59	0.58	1.13	94.13	28.17
18	9	2016	260	134.13	0.95	663.25	53.42	35.32
19	9	2016	454.76	88.50	0.81	26.51	100.00	26.82
19	9	2016	447.43	89.75	0.32	20.91	100.00	26.20

Date	Month	Year	PM <sub>10</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
19	9	2016	438.72	104.13	1.35	31.29	100.00	27.32
19	9	2016	357.42	193.54	0.01	14.67	100.00	25.66
19	9	2016	340.37	110.37	0.95	113.31	100.00	27.99
19	9	2016	313.72	89.55	1.68	90.11	72.78	30.21
19	9	2016	278.22	101.48	1.21	65.59	87.37	29.05
19	9	2016	276.79	116.39	2.74	78.55	64.85	31.00
19	9	2016	270.01	200.04	0.01	6.45	100.00	25.53
20	9	2016	349	112.21	0.44	1.39	89.91	28.00
20	9	2016	307.97	44.21	0.40	1.31	82.01	28.85
20	9	2016	283.21	95.07	1.52	1.38	74.96	29.43
20	9	2016	277.56	103.47	0.25	1.35	84.59	28.41
20	9	2016	276	105.94	1.54	1.39	78.55	29.39
20	9	2016	266.93	104.03	1.57	1.38	81.24	29.32
20	9	2016	266.09	86.29	0.59	1.33	83.03	28.58
21	9	2016	353.36	90.91	0.25	1.28	89.99	27.91
21	9	2016	280.43	21.31	0.10	1.05	91.25	27.95
22	9	2016	316.66	287.39	0.03	1.00	100.00	26.03

Date	Month	Year	PM <sub>10</sub>	dd	ff	grad	hum	temp
22	9	2016	285.91	208.38	0.02	1.50	100.00	25.97
22	9	2016	268.94	72.99	0.67	1.13	74.15	29.13
22	9	2016	266.88	62.53	0.32	1.05	77.28	28.96
23	9	2016	333.22	111.90	1.74	105.23	57.89	33.00
23	9	2016	327	97.41	0.64	1.07	77.45	29.35
23	9	2016	326.03	84.05	1.52	434.72	52.75	33.93
23	9	2016	325.37	69.02	1.22	738.40	47.85	34.67
23	9	2016	309	94.99	0.31	1.00	83.48	28.95
23	9	2016	305.13	72.09	0.90	25.41	69.86	30.35
23	9	2016	303.55	59.13	0.75	9.89	72.22	30.11
23	9	2016	277.33	62.19	0.88	40.27	67.99	30.40
23	9	2016	273.75	21.44	1.52	782.71	44.20	35.00
24	9	2016	312	288.05	0.43	1.32	100.00	25.13
24	9	2016	289.94	251.51	0.40	1.24	100.00	25.35

**Tabel PM<sub>10</sub> yang melebihi baku mutu SUF-6**

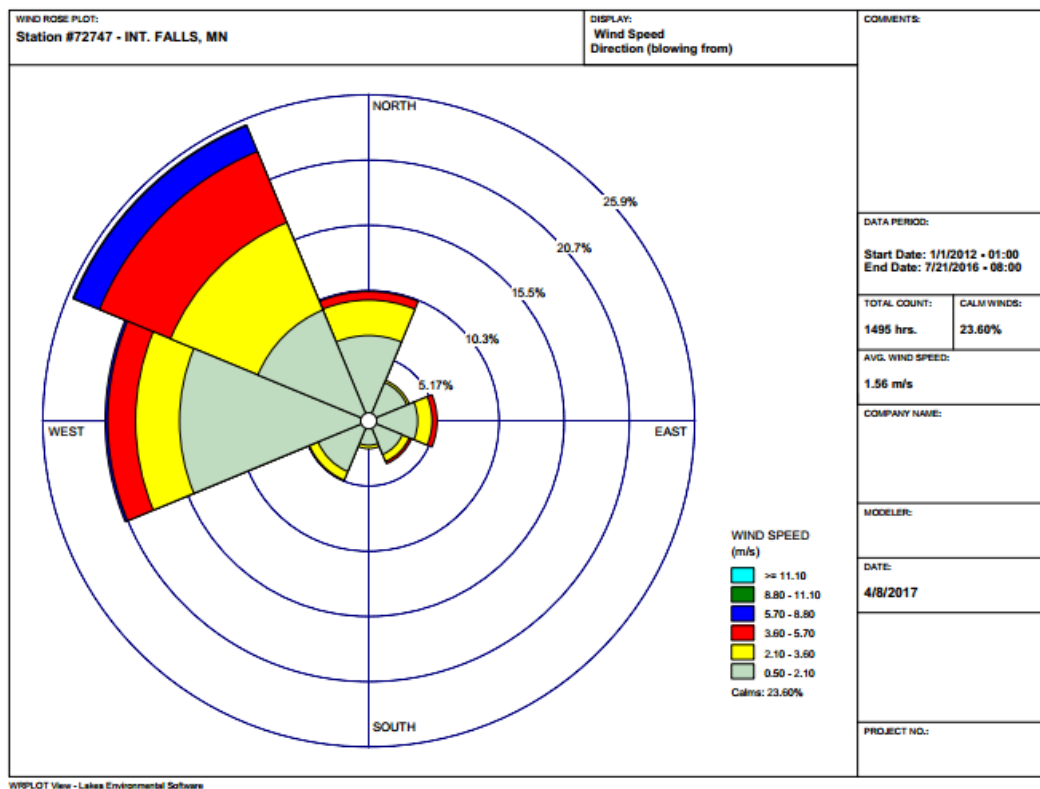
Date	Month	Year	PM10	dd	ff	grad	hum	temp
21	9	2016	687	114.95	1.71	309.90	0.11	30.18

Date	Month	Year	PM10	dd	ff	grad	hum	temp
21	9	2016	687	143.83	1.97	372.54	0.11	30.47
17	9	2016	558	53.09	0.02	0.00	0.11	27.07
17	9	2016	558	78.20	0.09	0.00	0.11	27.30
21	9	2016	482.05	141.77	1.71	406.75	0.11	30.96
21	9	2016	459	127.44	1.73	299.73	0.11	31.48
20	9	2016	390	121.75	1.18	0.00	0.11	28.62
20	9	2016	390	115.39	0.86	0.00	0.11	28.45
17	9	2016	334.68	128.60	0.24	0.00	0.11	26.95
21	9	2016	321.59	120.14	2.25	199.53	0.11	31.77
21	9	2016	320.35	106.02	1.04	0.00	0.11	28.45
21	9	2016	310	126.99	2.39	372.00	0.12	32.18
17	9	2016	299	76.73	0.04	0.00	0.11	27.14

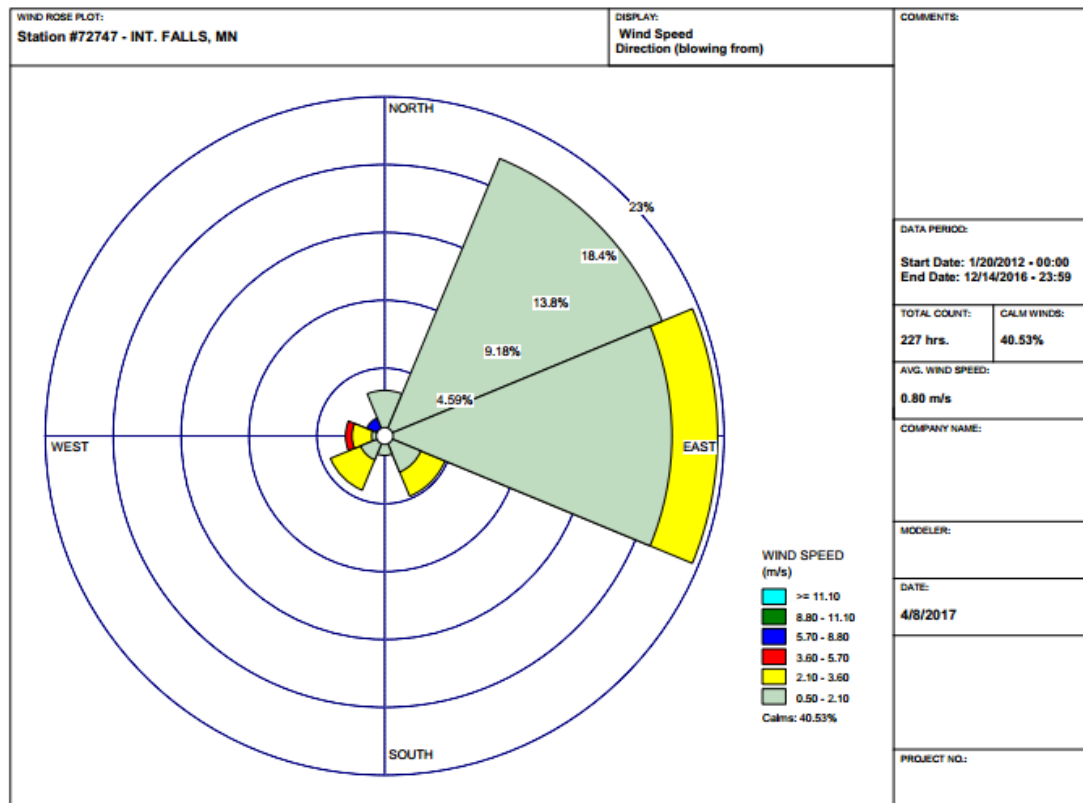
**LAMPIRAN 3**  
***WINDROSE***



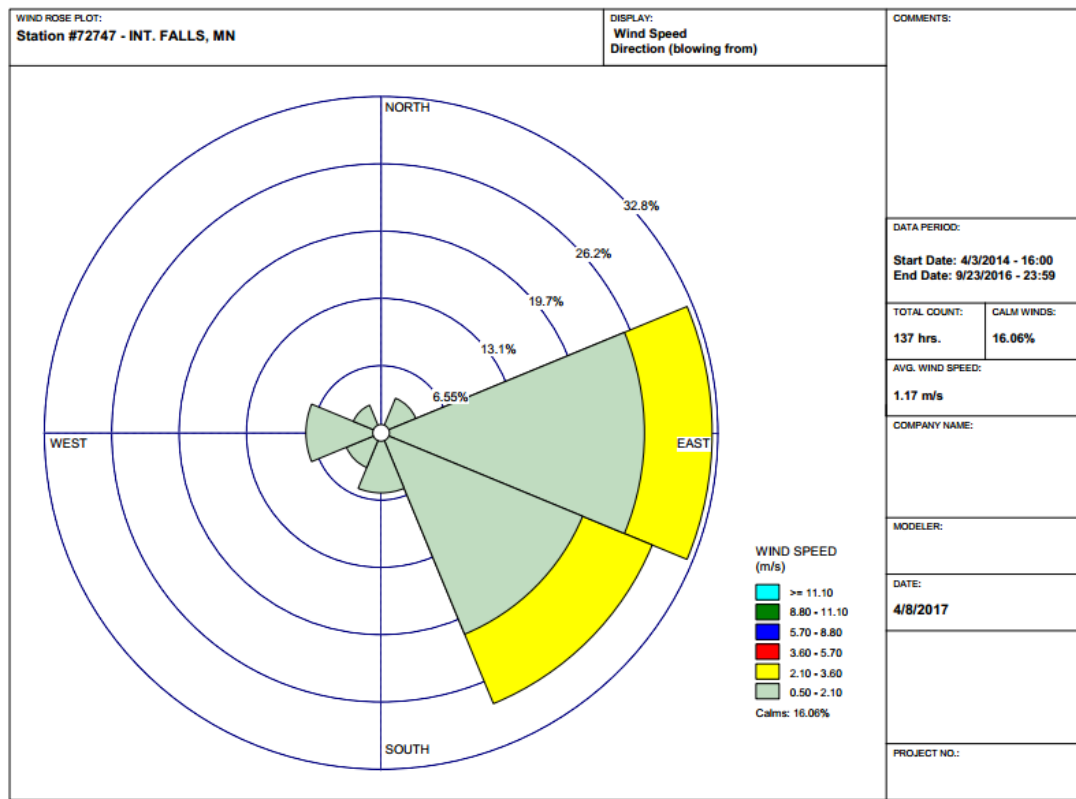
# WINDROSE SO<sub>2</sub> DI SUF-1



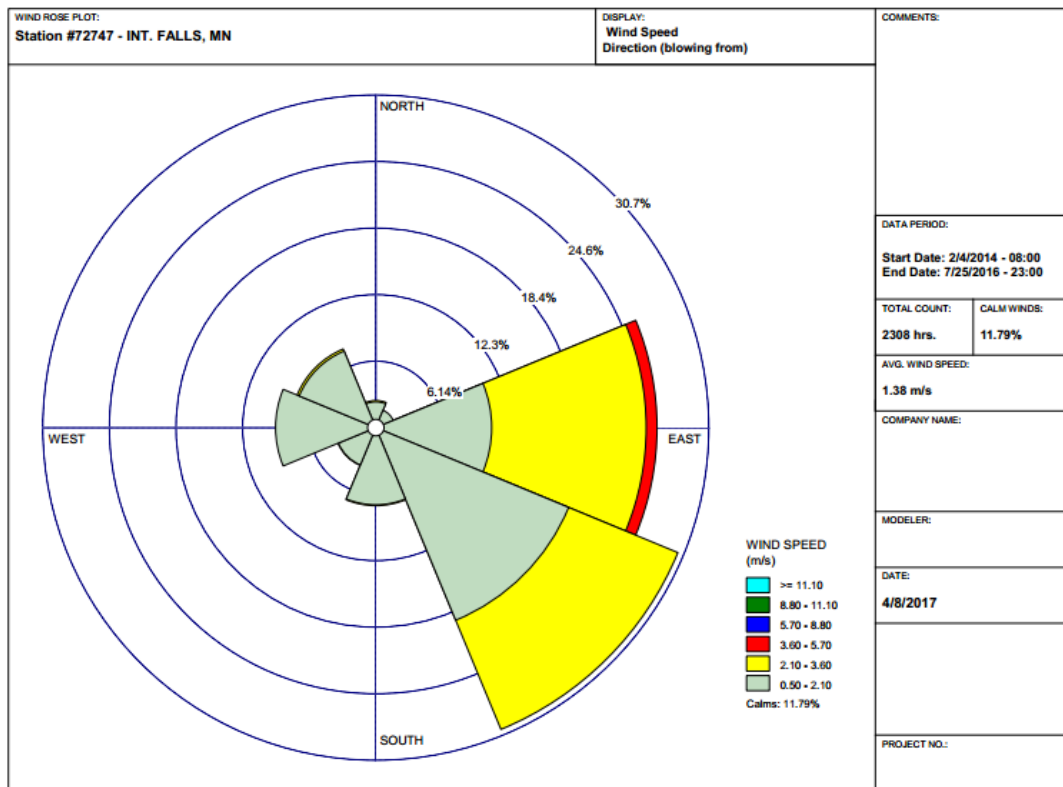
# **WINDROSE PM<sub>10</sub> DI SUF-1**



# WINDROSE PM<sub>10</sub> DI SUF-6



# WINDROSE PM<sub>10</sub> DI SUF-7



## LAMPIRAN 5 DAFTAR LIBUR PANJANG 2012-2016

### Tabel libur panjang 2012

23 Maret (Hari Raya Nyepi Tahun Baru Saka 1934)**
6 April (Wafat Yesus Kristus)*
17-18 Mei (Kenaikan Yesus Kristus dan cuti bersama)**
17 Agustus (Hari Kemerdekaan RI)**
19-20 dan 22 Agustus (Idul Fitri 1 Syawal 1433 Hijriah)***
26 Oktober (Idul Adha 1433 Hijriah)**
15-16 November (Tahun Baru Hijriah 1434 Hijriah dan cuti bersama)*
16 November (Cuti bersama Tahun Baru Hijriah)*
24-25 Desember (Cuti bersama Hari Raya Natal)*

### Tabel libur panjang 2013

24 Januari (Maulid Nabi Muhammad SAW)*
29 Maret (Wafat Isa Al Masih)**
9 Mei (Kenaikan Isa Al Masih)*
25 Mei (Hari Raya Waisak 2557)**
6 Juni (Isra Mi'raj)*
8-9 Agustus (Hari Raya Idul Fitri 1434H)*
17 Agustus (Hari Kemerdekaan RI)**

### Tabel libur panjang 2014

31 Januari (Tahun Baru Imlek 2565)**
18 April (Wafat Yesus Kristus)**
1 Mei (Hari Buruh)*
15 Mei (Raya Waisak Tahun 2558)*
29 Mei (Kenaikan Yesus Kristus)*
28-31 Juli dan 1 Agustus (Idul Fitri 1 Syawal 1435 Hijriah Cuti bersama Idul Fitri)***
25-26 Desember (Hari Raya Natal dan cuti bersama Natal)*

### Tabel libur panjang 2015

1 Januari (Tahun Baru 2015)*
19 Februari (Hari Raya Nyepi Tahun Baru Saka 1937)*
3 April (Wafat Isa Almasih)**

1 Mei ( Hari Buruh Internasional)**
14 Mei ( Kenaikan Yesus Kristus)*
17-18 Juli ( Hari Raya Idul Fitri 1436 Hijriyah)**
16,20 dan 21 Juli (Cuti bersama Idul Fitri)*
24 September ( Hari Raya Idul Adha 1436 H)*
24-25 Desember (Cuti Hari Natal dan Hari Raya Natal)**

### **Tabel libur panjang 2016**

25 Maret (Wafat Isa Almasih)**
5 Mei (Kenaikan Isa Al Masih)*
6-7 Juli (Hari Raya Idul Fitri 1437 Hijriyah)*

Keterangan :

\* ) : Libur dimulai pada hari Kamis dengan asumsi hari Jumat diliburkan pula

\*\* ) : Libur dimulai pada hari Jumat

\*\*\* ) Libur dimulai pada hari kerja (selain Kamis dan Jumat) hingga akhir pekan

## LAMPIRAN 5 HASIL R (MULTILEVEL MODEL)

CO

```

CO_alternatif2_TITING REZA FAHRISA
Linear mixed model fit by REML ['lmerMod']
Formula: CO ~ ff + grad + hum + temp + CFD + Mon + Tues + Wed + Thurs +
  Fri + Sat + Sun + Wet + dd1 + dd2 + dd3 + dd4 + dd5 + dd6 +
  dd7 + dd8 + Holidays + (1 | SUF)
Data: COok

REML criterion at convergence: 439649.3

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.1735 -0.3233 -0.0766  0.1347 13.2553

Random effects:
  Groups      Name      Variance Std.Dev.
SUF          (Intercept) 1.049    1.024
Residual                1.778    1.334
Number of obs: 128745, groups: SUF, 3

Fixed effects:
              Estimate Std. Error t value
(Intercept)  1.244e+00  6.084e-01   2.04
ff            -3.694e-02  3.781e-03  -9.77
grad          1.203e-05  2.597e-05   0.46
hum           7.180e-03  2.696e-04  26.63
temp          -1.789e-02  2.203e-03  -8.12
CFD1          5.557e-02  1.251e-01   0.44
Mon           1.230e-01  1.251e-01   0.98
Tues          1.299e-01  1.255e-01   1.03
Wed           1.127e-01  1.255e-01   0.90
Thurs         1.093e-01  1.255e-01   0.87
Fri           1.005e-01  1.255e-01   0.80
Sat           8.780e-02  1.255e-01   0.70
Wet           2.745e-01  8.429e-03  32.57
dd1           -1.872e-02  1.830e-02  -1.02
dd2           -8.364e-02  1.766e-02  -4.74
dd3           1.172e-01  1.554e-02   7.54
dd4           1.322e-01  1.946e-02   6.79
dd5           1.877e-01  2.075e-02   9.05
dd6           1.404e-01  1.743e-02   8.05
dd7           4.228e-03  1.570e-02   0.27
Holidays     -2.850e-01  1.623e-02 -17.56

fit warnings:
fixed-effect model matrix is rank deficient so dropping 2 columns / coefficients

```

## SO<sub>2</sub>

```

SO2_alternatif2_TITING REZA FAHRISA
Linear mixed model fit by REML ['lmerMod']
Formula: SO2 ~ ff + grad + hum + temp + CFD + Mon + Tues + Wed + Thurs +
  Fri + Sat + Sun + Wet + dd1 + dd2 + dd3 + dd4 + dd5 + dd6 +
  dd7 + dd8 + Holidays + (1 | SUF)
Data: SO2ok

REML criterion at convergence: 697855.9

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-11.2622  -0.3220  -0.0203   0.2943  13.4935

Random effects:
  Groups Name      Variance Std.Dev.
SUF      (Intercept) 4451    66.71
Residual              3063    55.35
Number of obs: 64229, groups: SUF, 3

Fixed effects:
              Estimate Std. Error t value
(Intercept) 211.846843  39.502994   5.36
ff           0.689159   0.255166   2.70
grad         0.054760   0.001395  39.24
hum          -0.320563   0.013948  -22.98
temp        -4.114979   0.116410  -35.35
CFD1         -20.938518   8.000996  -2.62
Mon          -21.484516   8.001181  -2.69
Tues         -21.926213   8.026760  -2.73
Wed          -20.517040   8.026120  -2.56
Thurs        -18.490284   8.025777  -2.30
Fri          -19.079678   8.026112  -2.38
Sat          -20.481441   8.026762  -2.55
Wet          -14.138395   0.494064  -28.62
dd1           4.020035   1.172882   3.43
dd2          -7.930392   1.077431  -7.36
dd3          -20.245050   0.936051  -21.63
dd4          -19.853140   1.186173  -16.74
dd5          -17.561505   1.215491  -14.45
dd6          -11.721009   1.070986  -10.94
dd7           3.624394   0.953527   3.80
Holidays     2.215961   0.966143   2.29
fit warnings:
fixed-effect model matrix is rank deficient so dropping 2 columns / coefficients

```



## PM<sub>10</sub>

```

PM10_alternatif2_TITING REZA FAHRISA
Linear mixed model fit by REML ["lmerMod"]
Formula: PM10 ~ ff + grad + hum + temp + CFD + Mon + Tues + Wed + Thurs +
  Fri + Sat + Sun + Wet + dd1 + dd2 + dd3 + dd4 + dd5 + dd6 +
  dd7 + dd8 + Holidays + (1 | SUF)
Data: PM10ok

REML criterion at convergence: 576285.2

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.1157 -0.5869 -0.1360  0.4496 17.6421

Random effects:
  Groups Name      Variance Std.Dev.
  SUF    (Intercept) 696.8    26.40
  Residual          1287.7    35.89
Number of obs: 57636, groups: SUF, 3

Fixed effects:
              Estimate Std. Error t value
(Intercept) 54.5361304 17.3913375   3.14
ff           -5.4420106  0.1695629  -32.09
grad          0.0570162  0.0009855   57.86
hum           0.0062154  0.0089249    0.70
temp         -0.2807292  0.0823118  -3.41
CFD1          0.5229771  8.0309715    0.07
Mon           3.4986050  8.0309834    0.44
Tues          5.2986562  8.0389529    0.66
Wed           6.3810291  8.0387865    0.79
Thurs         4.9950104  8.0387036    0.62
Fri           4.9150885  8.0390852    0.61
Sat           6.7643682  8.0386275    0.84
Wet          -5.1429238  0.3432591  -14.98
dd1           2.7853702  0.8507556    3.27
dd2          -0.6370710  0.7537309   -0.85
dd3           3.0664243  0.6296245    4.87
dd4           5.7504058  0.8184842    7.03
dd5           9.4177621  0.8544294   11.02
dd6           5.4772709  0.7464534    7.34
dd7           3.0931928  0.6323606    4.89
Holidays     -9.2039011  0.6668821  -13.80

fit warnings:
fixed-effect model matrix is rank deficient so dropping 2 columns / coefficients

```

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## **BIODATA PENULIS**

Titing Reza Fahriza dilahirkan pada tanggal 28 Mei di Banyuwangi pada tahun 1995. Pendidikan dasar hingga menengah diselesaikan di Banyuwangi, kemudian pada tahun 2013 hingga saat ini melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

Penulis memiliki beberapa pengalaman organisasi dan kepanitiaan semasa kuliah diantaranya Staff Kementrian Hubungan Luar Negeri BEM ITS (2014-2015), ketua tim PKM-Penelitian TL-ITS 2014, penanggungjawab dan bendahara umum ASEAN Youth Collaboration Festival (2014), Panitia ASEAN Talk , YESSummit dan ASEAN Creative Competition (2014). Penulis juga mempunyai pengalaman Internasional diantaranya adalah delegasi Indonesia di Beijing International Chinese College 2015 (Beijing, China) dan ASEAN of Hadron Physics (Thailand). Penulis juga sebagai administrator Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim Teknik Lingkungan ITS periode 2015 hingga sekarang. Penulis dapat dihubungi melalui email: [titingrezaf@gmail.com](mailto:titingrezaf@gmail.com).

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**